

**DANIEL PETRIȘOR**

# **PROCESAREA DIGITALĂ A IMAGINILOR**

**CU APLICAȚII ÎN MONITORIZAREA  
MOBILITĂȚII REGIUNILOR OCULARE**

**III 330 427**

BCU IASI

**editura p1m**



Daniel Petrișor

850102

**PROCESAREA DIGITALĂ A IMAGINILOR**  
**CU APLICAȚII ÎN MONITORIZAREA**  
**MOBILITĂȚII REGIUNILOR OCULARE**



**EDITURA PIM**  
Iași, 2014



## PREFAȚĂ

Mobilitatea regiunilor oculare constituie o sursă sigură de informații referitoare la interacțiunea subiectului uman cu mediul înconjurător. Mobilitatea regiunilor oculare a fost măsurată și analizată prin diverse metode care s-au dezvoltat odată cu noile tehnologii. În primă fază, specialiștii din domeniul medical, preocupați de studierea modului în care subiectul uman reacționează la diverși stimuli, precum și de interacțiunea acestuia cu mediul înconjurător, au studiat mobilitatea regiunilor oculare utilizând metode invazive. Metodele invazive utilizate prezintă dezavantajul perturbării comportamentului normal al subiecților pe durata studiilor experimentale, datorită disconfortului creat de contactul aparaturii cu subiectul uman. Dintre cele mai importante metode utilizate de către cercetătorii din acest domeniu, în scopul măsurării mobilității regiunilor oculare, sunt amintite: bobina încorporată în lentila de contact, bobina plasată pe pleoapa subiectului, electro-oculografia și metoda bazată pe iluminarea cu un fascicul infraroșu.

Metodele invazive au fost folosite pentru măsurarea cu rezultate bune a mobilității pleoapelor, și cu toate acestea prezintă dezavantajul major, datorat caracterului perturbator exercitat asupra subiectului uman. Dezvoltarea tehnologiei a permis tehnicilor de prelucrare digitală a imaginilor să ofere o soluție competitivă la această problemă. Invazivitatea metodelor tradiționale de măsurare a mobilității pleoapelor este eliminată în cazul încorporării tehnologiilor digitale de achiziție și procesare a imaginilor. Procesarea digitală a imaginilor permite dezvoltarea de sisteme capabile să monitorizeze și să măsoare în mod neinvaziv mobilitatea pleoapelor subiectului uman în condiții naturale, fără a perturba comportamentul subiectului uman. Desigur, utilizarea tehnicilor de achiziție și prelucrare a imaginilor este influențată de factorii ce au efecte negative asupra performanțelor unui astfel de sistem. Cercetările realizate de autor în cadrul acestei lucrări au urmărit dezvoltarea unei metode neinvazive de măsurare a mobilității pleoapelor, ce utilizează procesarea digitală a imaginilor. În cadrul etapei de analiză și studiere a metodelor utilizate și a dificultăților cu care acestea se confruntă, autorul a identificat factorii cu efectul perturbator cel mai considerabil asupra procesului de măsurare.

Factorii cei mai importanți identificați sunt următorii: poziția și orientarea chipului uman în imagine, condițiile de iluminare variabile și caracterul dinamic al mobilității pleoapelor. Deoarece câmpul vizual al camerei video este limitat și permite achiziționarea unei imagini ce încadrează doar o porțiune din lumea reală, prescrisă de dimensiunile imaginii, acest fapt restrânge posibilitățile de poziționare a subiectului uman în cadrul imaginii. Astfel, poziționarea și orientarea chipului subiectului uman în cadrul imaginii influențează vizibilitatea regiunilor de interes. Procedura de măsurare a regiunilor oculare este perturbată de vizibilitatea redusă sau obturarea completă a acestora, datorată variației iluminării mediului ambiental. De asemenea, variațiile de poziție și orientare ale chipului uman în cadrul imaginii constituie o componentă ce trebuie compensată pentru a realiza o măsurare precisă a mobilității pleoapelor. Datorită



dinamicii complexe ce caracterizează procesul de clipit uman, măsurarea cu precizie a mobilității pleoapelor impune achiziția de imagini cu o rată de achiziție ridicată.

Referitor la factorii perturbatori, a căror influențe asupra sistemului de măsurare au fost analizate, autorul a propus și implementat următoarele soluții de compensare și diminuare a efectelor perturbatoare:

- i. Poziția și orientarea chipului uman în imagine este determinată prin intermediul etapei ce detectează chipul uman și localizarea trăsăturilor faciale. Această etapă calculează poziția și orientarea chipului uman, cât și localizarea în imagine a ochilor și sprâncenelor. Orientarea chipului și localizarea sprâncenelor sunt utilizate ca referințe fiabile pentru inițializarea procesului de urmărire a regiunilor oculare. Regiunile oculare sunt determinate ținând cont de localizarea ochilor, distanța dintre ochi și orientarea chipului uman. Actualizarea regiunilor oculare în fiecare cadru video este realizată prin intermediul algoritmului ce realizează urmărirea localizării sprâncenelor. Influențele perturbatoare datorate poziției și orientării chipului uman sunt reduse prin urmărirea în permanență a localizării pleoapelor și cunoașterea orientării chipului.
- ii. Influențele perturbatoare datorate iluminării variabile sunt compensate prin convertirea imaginilor achiziționate în spațiul de culori HSV. Acest spațiu realizează reprezentarea culorilor, utilizând componente de culoare ce sunt afectate în mod diferit de iluminarea variabilă. Condițiile de iluminare variabile sunt compensate prin prelucrarea componentei nuanță de culoare care nu este afectată de iluminare.
- iii. Dinamica complexă a mobilității oculare este monitorizată prin achiziția de secvențe video, cu o rată de achiziție de 90 cadre pe secundă. Rata de achiziție ridicată permite măsurarea cu precizie a orientării pleoapelor, în cadrele imagine ce descriu etapele procesului de clipit. Sistemul este capabil să măsoare etapele intermediare ale procesului de clipit cu o perioadă de eșantionare de 11 ms.

În cercetările pe tema procesării digitale a imaginilor pentru monitorizarea mobilității regiunilor oculare, ale căror realizări sunt prezentate în lucrarea de față, autorul și-a propus să analizeze principalele metode de măsurare a mobilității regiunilor oculare, să identifice problemele cu care acestea se confruntă și să dezvolte soluții inovative ce încorporează procesarea digitală a imaginilor, în scopul implementării unei metode neinvazive de monitorizare și analiză a mobilității pleoapelor. Lucrarea descrie modul de implementare al algoritmilor de procesare digitală a secvențelor video, cât și o analiză comparativă a rezultatelor experimentale obținute în urma procesului de măsurare, ce a fost aplicat asupra a opt subiecți voluntari în șase situații experimentale.

Procesul de analiză a condus la identificarea unor dependențe a modului cum subiecții umani clipească în cele șase cazuri experimentale. Analiza statistică și modul de determinare a dependențelor ce descriu comportamentul subiecților în fiecare caz sunt prezentate în mod detaliat în capitolul ce tratează rezultatele experimentale.

Activitatea de cercetare, a cărei rezultate sunt descrise în această lucrare a avut în perspectivă realizarea obiectivelor descrise în următoarele rânduri.



---

✓ Achiziția secvențelor video în scopul monitorizării mobilității regiunilor oculare

Monitorizarea și analiza mobilității regiunilor oculare ale unui subiect uman, utilizând procesarea digitală a imaginilor, a implicat achiziția de secvențe video cu subiectul uman în timp ce acesta realizează diferite sarcini, precum și salvarea acestora sub formă digitală în calculator. Autorul a conceput un cadru experimental compus din șase cazuri ce solicită în mod diferit atenția și nivelul de concentrare al subiecților. Secvențele video au fost apoi prelucrate prin intermediul algoritmului de măsurare a mobilității pleoapelor, pentru a analiza parametrii ce descriu procesul de clipit.

✓ Detecția chipului uman și a caracteristicilor faciale

Chipul uman și localizarea trăsăturilor faciale sunt utilizate pentru determinarea regiunilor oculare de interes și urmărirea localizării acestora în succesiunea de cadre a secvenței video. Mobilitatea chipului uman în planul imaginii este compensată prin cunoașterea în permanență a poziției regiunilor de interes și a orientării chipului. Algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor utilizează localizarea sprâncenelor și orientarea chipului pentru a calcula regiunile de interes în fiecare imagine analizată.

✓ Măsurarea parametrilor specifici mobilității regiunilor oculare

Studierea parametrilor specifici mobilității regiunilor oculare s-a realizat pe un număr reprezentativ de subiecți umani voluntari. Subiecții sunt monitorizați într-un interval de timp bine stabilit pe parcursul a diferite situații experimentale, în care aceștia efectuează diferite activități. Secvențele video rezultate sunt apoi prelucrate de algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor. Valorile parametrilor specifici dinamicii regiunilor oculare, determinate în urma măsurărilor efectuate, sunt în continuare utilizate pentru a analiza mobilitățile regiunilor oculare.

✓ Analiza și interpretarea rezultatelor experimentale referitoare la monitorizarea regiunilor oculare la diferiți subiecți umani

Studiind parametri rezultați în urma monitorizării subiectului, în concordanță cu activitățile desfășurate, am dezvoltat studii experimentale, având ca obiectiv principal obținerea unei dependențe între mobilitatea regiunilor oculare și activitățile desfășurate de subiectul uman.

Rezultatele procesului de măsurare a parametrilor regiunilor oculare sunt sintetizate sub forma unor grafice ce prezintă valorile corespunzătoare acestor descriptori. Studiarea factorilor ce pot avea implicații asupra mobilității regiunilor oculare s-a realizat prin analizarea influențelor unor parametri precum: gradul de oboseală, nivelul de concentrare al atenției, condițiile de iluminare, posibilele afecțiuni ale sistemului vizual semnalate de clipitul excesiv.



---

## Structura lucrării

Lucrarea de față, intitulată „Procesarea digitală a imaginilor cu aplicații în monitorizarea mobilității regiunilor oculare” este structurată pe cinci capitole, precedate de o prefată. Prefața prezintă motivația cercetărilor realizate de autor în domeniul procesării digitale a imaginilor, actualitatea acestora, precum și soluțiile inovative implementate de autor pentru realizarea unui sistem neinvaziv de măsurare a mobilității pleoapelor.

**Capitolul 1** prezintă stadiul actual al tehnicilor de monitorizare și analiză a mobilității regiunilor oculare. În acest capitol sunt prezentate metodele invazive utilizate pentru realizarea de măsurători, dar și sistemele ce incorporează tehnologii moderne de achiziție și prelucrare a imaginilor. Capitolul realizează o descriere a tehnicilor de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale, precum și prezentarea sistemelor de monitorizare a mobilității regiunilor oculare. Avantajele tehnicilor de procesare digitală a imaginilor sunt subliniate în acest capitol, care prezintă și factorii perturbatori ce influențează precizia măsurării mobilității pleoapelor.

**Capitolul 2** descrie cadrul experimental de studiere și monitorizare a mobilității regiunilor oculare. În prima parte sunt prezentați factorii perturbatori asupra cărora autorul și-a îndreptat cercetările în scopul diminuării efectelor negative, precum și soluțiile inovative găsite ca răspuns la aceste provocări. Protocolul experimental de achiziție a secvențelor video, precum și procedeele experimentale utilizate în analiza mobilității pleoapelor au fost descrise în mod detaliat. Este motivată și integrarea algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale în cadrul sistemului de măsură a mobilității pleoapelor. În finalul capitolului sunt definiți parametrii ce descriu mobilitatea pleoapelor, prin intermediul cărora s-a realizat analiza modului specific în care subiecții clipesc.

**Capitolul 3** este dedicat descrierii modului de implementare a algoritmului de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale, utilizând un procedeu de segmentare a culorii pielii. Inițial sunt prezentate argumentele ce susțin dezvoltarea acestui domeniu. Sunt prezentate succint problemele specifice cu care se confruntă detecția chipului uman și a trăsăturilor faciale. Descrierea modului de implementare al algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale este apoi prezentată în mod detaliat. În a doua parte a capitolului a fost realizat un studiu cu privire la performanțele algoritmului de detecție a chipului și a trăsăturilor faciale. Realizarea acestui studiu a presupus achiziția unui set de secvențe video ce au constituit cadrul experimental de analiză. Secvențele video au fost achiziționate în diverse condiții, conform modelului descris. Performanțele algoritmului au fost analizate prin studierea următorilor factori: iluminare, unghiul de înclinare a chipului și distanța dintre subiect și camera video. Conform acestor studii autorul a subliniat factorii ce au influența cea mai puternică asupra algoritmului, precum și contribuțiile personale pentru diminuarea acestora, reflectate în structura sistemului.

**Capitolul 4** al tezei prezintă cercetările realizate pentru implementarea unui algoritm de monitorizare și măsurare a mobilității regiunilor oculare. Algoritmul realizează detecția inițială a chipului uman și a localizării ochilor și a sprâncenelor în imagine, prin aplicarea metodei de detecție descrisă în capitolul trei. Detecția s-a realizat prin prelucrarea primelor cadre componente ale secvenței video analizate. În urma acesteia sunt determinate pozițiile ochilor,



---

sprâncenelor, orientarea chipului și distanța dintre ochi. Utilizând acești parametri sunt calculate regiunile oculare de interes. Localizarea în imagine a sprâncenelor este considerată ca referință sigură pentru determinarea regiunilor de interes. Este descrisă apoi urmărirea pozițiilor, prin intermediul algoritmului piramidal de urmărire Lucas-Kanade.

Procedeul de detectare a liniilor specifice pleoapelor s-a realizat prin aplicarea algoritmului de detecție, ce folosește transformata Hough. Algoritmul de detecție identifică liniile specifice pleoapelor și parametrii definitorii pentru acestea, orientarea și vectorul normal. Gradul de închidere a ochilor este calculat utilizând orientările liniilor ce aproximează pleoapele subiectului. Mobilitatea pleoapelor este descrisă de variația unghiului de orientare a pleoapelor, măsurat în fiecare cadru al secvenței video. Utilizând algoritmul descris în cadrul acestui capitol este realizată măsurarea mobilității pleoapelor în fiecare cadru al secvenței video.

Capitolul 5 descrie procedeul de analiză a rezultatelor experimentale cu privire la mobilitatea pleoapelor, exercitată de cei opt subiecți în cele șase cazuri experimentale. Obiectivul principal al acestui capitol a constat în analizarea rezultatelor măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, specifică fiecărui subiect monitorizat. Analizarea rezultatelor a fost realizată în două moduri. Primul tip de analiză a constat în evaluarea parametrilor specifici ce descriu mobilitatea pleoapelor, pentru fiecare subiect uman. Procedura de analiză a avut ca scop identificarea unor similarități ce se pot observa la nivelul mobilității subiecților, valabile și pentru restul grupului de subiecți. În acest sens, au fost identificate similarități complexe, descrise de parametrii analizați și care au fost confirmate de analiza statistică realizată asupra mobilității pleoapelor, corespunzătoare fiecărui caz experimental. Modalitatea a doua de analiză a parametrilor specifici, ce a analizat variațiile acestora în cadrul fiecărui caz experimental, a avut ca scop validarea sau infirmarea ipotezelor identificate, referitoare la modelul privind mobilitatea corespunzătoare unui anumit caz experimental. Această modalitate de analiză a confirmat pe cale statistică faptul că, în cinci din cele șase cazuri experimentale au fost identificate modele ale mobilității pleoapelor. Pentru a explica apariția acestor modele, autorul a corelat rezultatele experimentale cu observații empirice, referitoare la posibili factori ce au influențat concretizarea acestor modele.



---

# Cuprins

<b>1. CAPITOLUL 1</b>	<b>3</b>
Tehnici de monitorizare și analiză a mobilității regiunilor oculare	3
1.1. Detectarea chipului uman	4
1.2. Sisteme de monitorizare a mobilității regiunilor oculare	9
1.2.1. Metoda bobinei de căutare	12
1.2.2. Metodă de măsurare folosind o radiație infraroșie	13
1.2.3. Metodă de măsurare electro-oculografică	14
1.2.4. Metode de monitorizare a mobilității regiunilor oculare utilizând tehnici de procesare digitală a imaginilor	14
1.2.4.1. Sistem de calcul a orientării privirii utilizând reflexia corneană	15
1.2.4.2. Sisteme de captare a mișcărilor faciale	16
1.3. Concluzii	17
<b>2. CAPITOLUL 2</b>	<b>19</b>
Cadrul experimental definit pentru măsurarea mobilității regiunilor oculare	19
2.1. Proceduri experimentale de analiză a mobilității oculare	20
2.1.1. Protocolul experimental	20
2.1.2. Procedee experimentale utilizate în analizarea mobilității pleoapelor	21
2.2. Parametrii experimentali monitorizați	23
2.2.1. Poziția și orientarea chipului uman. Localizarea caracteristicilor faciale	23
2.2.2. Definirea parametrilor specifici mobilității pleoapelor	24
2.2.3. Modele ce descriu mobilitățile regiunilor oculare	26
<b>3. CAPITOLUL 3</b>	<b>27</b>
Detectia chipului uman și a caracteristicilor faciale utilizând un procedeu de segmentare a culorii pielii	27
3.1. Considerații privind implementarea algoritmului de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale	28
3.2. Algoritm de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale	30
3.2.1. Evidențierea regiunilor ce descriu pielea umană	31
3.2.2. Tabel de căutare pentru segmentarea regiunilor de piele	33
3.2.3. Operații morfologice utilizate pentru procesarea imaginilor, în scopul detectării chipului uman și a trăsăturilor faciale	34
3.2.4. Caracterizarea particulelor din imagine utilizând descriptorii de regiuni	36
3.2.5. Caracterizarea particulelor prin intermediul momentelor	38
3.2.6. Descriptorii ce caracterizează orientarea și geometria particulelor	41
3.3. Funcționarea algoritmului de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale	43
3.3.1. Determinarea localizării chipului uman	43
3.3.2. Determinarea caracteristicilor faciale	50

---



3.3.3. Determinarea cu precizie a localizării trăsăturilor faciale .....	53
3.4. Studiu asupra preciziei algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale .....	57
3.4.1. Indicatorii de performanță utilizați în analiza algoritmului .....	64
3.4.2. Analiza performanțelor privind detecția chipului uman .....	64
3.4.3. Analiza performanțelor privind detecția trăsăturilor faciale .....	75
3.4.4. Concluzii privind influența factorilor analizați asupra performanțelor algoritmului .....	80
3.5. Rezumat și concluzii generale asupra capitolului .....	82
<b>4. CAPITOLUL 4 .....</b>	<b>85</b>
Algoritm de monitorizare și măsurare a mobilității regiunilor oculare .....	85
4.1. Considerații privind dezvoltarea unui sistem de monitorizare și măsurare a mobilităților oculare .....	86
4.2. Sistemul de urmărire a pozițiilor caracteristicilor faciale de interes .....	88
4.2.1. Descrierea algoritmului de urmărire a poziției caracteristicilor de interes .....	89
4.2.1.1. Implementarea unei structuri piramidale de reprezentare a imaginii .....	90
4.2.1.2. Urmărirea poziției de interes prin intermediul structurii piramidale .....	92
4.2.1.3. Calculul fluxului optic prin intermediul metodei iterative Lucas-Kanade .....	93
4.2.1.4. Calculul cu precizie a localizării .....	96
4.3. Localizarea pleoapelor și urmărirea regiunilor oculare .....	99
4.3.1. Accentuarea vizibilității regiunilor oculare .....	102
4.3.2. Evidențierea conturului pleoapelor .....	103
4.4. Măsurarea mobilității regiunilor oculare .....	104
4.4.1. Transformata Hough utilizată pentru detecția liniilor a căror orientare descrie mobilitatea pleoapelor .....	104
4.4.2. Funcționarea algoritmului de detecție a liniilor .....	105
4.4.3. Măsurarea mobilității pleoapelor .....	107
4.5. Rezumat și concluzii generale asupra capitolului .....	109
<b>5. CAPITOLUL 5 .....</b>	<b>113</b>
Rezultate experimentale privind monitorizarea și măsurarea mobilității regiunilor oculare ..	113
5.1. Rezultate experimentale privind măsurarea mobilității pleoapelor .....	114
5.2. Analiza individuală a mobilității pleoapelor corespunzătoare fiecărui subiect uman investigat .....	117
5.2.1. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 1 .....	117
5.2.2. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 2 .....	121
5.2.3. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 3 .....	125
5.2.4. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 4 .....	128
5.2.5. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 5 .....	131
5.2.6. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 6 .....	134
5.2.7. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 7 .....	137



---

5.2.8. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 8.....	140
5.3. Analizarea mobilității pleoapelor corespunzătoare fiecărui studiu experimental .....	143
5.3.1. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 1 .....	143
5.3.2. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 2 .....	148
5.3.3. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 3 .....	153
5.3.4. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 4 .....	156
5.3.5. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 5 .....	161
5.3.6. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 6 .....	166
5.4. Interpretarea rezultatelor referitoare la mobilitatea pleoapelor .....	171
5.5. Dependențe confirmate statistic ce descriu mobilitatea pleoapelor .....	174
5.6. Rezumat și concluzii generale asupra capitolului .....	175
<b>6. Direcții viitoare de dezvoltare.....</b>	<b>177</b>
Stadiul actual al problemei.....	178
Direcții viitoare de dezvoltare.....	181



---

## CAPITOLUL 1

# Tehnici de monitorizare și analiză a mobilității regiunilor oculare

---



## 1.1. Detectarea chipului uman

Detectarea feței umane constituie etapa inițială din structura sistemului de analiză a expresiilor faciale, proces ce oferă sistemului de monitorizare un punct de focalizare a acțiunilor sale, realizând o concentrare a procedurilor de căutare asupra unei porțiuni din imaginea analizată.

Etapa de detectare a feței umane are ca scop prelucrarea unei imagini, pentru a determina dacă în acea imagine se regăsește o față umană, iar dacă da, atunci algoritmul trebuie să găsească poziția exactă a acelei fețe în imagine. Sistemele de analiză a expresiilor faciale, bazate pe procesarea digitală a imaginilor, realizează monitorizarea acestor trăsături faciale plecând de la premisa că în imaginea procesată se regăsește o singură față umană și aceasta este localizată în planul apropiat al imaginii, rezultând astfel ca scop principal al acestei etape determinarea poziției feței în imagine și localizarea trăsăturilor faciale. Algoritmul de detecție a feței umane poate fi aplicat asupra unei imagini statice sau asupra unei secvențe de imagini, deoarece robustețea și precizia cu care este detectată fața umană, dintr-o secvență de imagini este mult mai bună în comparație cu detecția din imagini statice. Procedeele de detecție a feței umane din imagini statice sunt clasificate [Yang,2002] în următoarele categorii:

- i. Metode bazate pe cunoștințe – aceste metode încorporează cunoștințele umane despre trăsăturile faciale și ce trăsături trebuie să aibă un obiect pentru a fi clasificat ca o față umană. Structura internă pe care se bazează aceste metode de detecție și clasificare, surprind relațiile dintre diferitele trăsături faciale, poziția relativă a acestora, relațiile de spațialitate dintre trăsăturile cele mai proeminente ale feței. Metodele din această categorie sunt concepute și implementate pentru a localiza fața umană în imagine.
- ii. Tehnici bazate pe caracteristici invariabile – algoritmi ce utilizează caracteristici invariabile pentru detectarea feței umane au ca scop detectarea trăsăturilor caracteristice, indiferent de poziția capului, unghiul din care este vizualizat și condițiile de iluminare exterioare pentru ca mai apoi, pornind de la aceste caracteristici, să fie determinată poziția feței. Algoritmi din această clasă pot integra pentru îmbunătățirea performanțelor în detectarea feței, componente software responsabile pentru urmărirea unor trăsături specifice precum regiunile ce delimitează ochii, gura, informații legate de textura anumitor regiuni de interes, culoarea pielii.
- iii. Metode ce utilizează detecția de șabloane – această tehnică de detectare a poziției feței umane utilizează un număr de șabloane ce urmăresc să conțină toate trăsăturile urmărite ale feței umane, pentru a avea o robustețe cât mai mare atunci când percepția feței subiectului monitorizat este afectată de condițiile de iluminare și poziția capului. Astfel, algoritmul compară șabloanele ce conțin caracteristicile feței cu imaginea analizată, pentru a determina dacă unul din șabloanele existente este regăsit în imagine; în cazul în care comparația are un rezultat pozitiv, atunci algoritmul determină coordonatele din imagine unde se regăsește posibila față a subiectului uman. Comparația dintre șabloanele de trăsături și imaginea analizată se realizează prin corelația dintre acestea. După operația de corelație se calculează distanța dintre cele două imagini, luând în considerare rezultatul corelației și o serie de coeficienți ponderați. Mai departe, sistemul evaluează pe



baza parametrului distanță dacă în imagine se regăsește unul din șabloanele de referință. Șabloanele utilizate de această metodă pot fi șabloane predefinite ce conțin diverse ipostaze ale feței umane sau șabloane deformabile a căror dimensiuni pot varia, tocmai pentru a ține cont de dimensiunile de scală la care poate fi regăsită fața umană în imagine. Algoritmii din această categorie sunt utilizați cu rezultate bune pentru localizarea și detecția chipului uman în imagine.

- iv. Tehnici ce exploatează aspectul tipic chipului uman – în comparație cu metodele ce utilizează șabloane pentru detecție, acești algoritmi învață un set de caracteristici tipice chipului uman, regăsite în succesiunea de imagini ce conțin variațiile trăsăturilor faciale. Robustețea algoritmului crește cu cât imaginile din care sunt învățate trăsăturile faciale sunt mai variate, cu cât este mai mare capacitatea sistemului de a distinge între varietatea de trăsături, dar și cu cât abilitatea algoritmului de a detecta variații mici ale acestor trăsături este mai bună. Algoritmul selectează din imaginile de învățare caracteristicile esențiale, care mai apoi sunt învățate și utilizate mai departe în detecția chipului uman în imagine. Sistemele actuale folosesc o multitudine de metode ce au la bază aspectul specific, printre cele mai uzual utilizate sunt: metoda chipurilor proprii, metoda bazată pe distribuția unor trăsături specifice, metode implementate cu rețele neuronale, metode bazate pe SVM (support vector machines), metode bazate pe HMM (hidden markov model), metode utilizate doar pentru detecția feței umane. În continuare sunt prezentate tehnicile de detectare a feței umane, utilizând informația de mișcare conținută în secvențele de imagini, metode ce caută să evidențieze caracteristici faciale invariabile, a căror proprietăți rămân neschimbate odată cu mișcarea feței umane și a capului.
- v. Metode ce se bazează pe acumularea diferențelor regăsite în diferitele cadre imagine - principiul acestor tehnici este de a extrage din secvența de imagini, pe baza conturilor obiectelor în mișcare, zonele din imagine ce definesc aceste obiecte. Prelucrarea imaginilor pentru evidențierea acestor regiuni este relativ ușor de implementat, prin crearea unui nivel de prag peste care obiectele în mișcare sunt analizate. Conturile rezultate în urma procesării imaginii analizate pot descrie trăsături faciale, fața umană sau părți ale corpului uman, acestea fiind extrase prin prelucrarea diferențelor regăsite în imaginile procesate. Sortarea candidaților este realizată pe baza unui algoritm ce măsoară gradul de certitudine a fiecărei trăsături determinată, iar la final candidatul ce deține gradul cel mai mare de certitudine este selectat ca posibilă poziție a trăsăturii urmărite de algoritm.
- vi. Metode implementate pe principiul conturului imaginii în mișcare – principiul acestor algoritmi constă în estimarea mișcării conturilor din imagine, pentru a determina gradul în care s-a deplasat un obiect sau o trăsătură specifică monitorizată, metodă ce poartă denumirea de optical flow (caracterul optic fluent al imaginii în mișcare). Rezultatele acestui tip de algoritm, în ceea ce privește determinarea deplasării trăsăturilor din imagine sunt mult mai robuste în comparație cu metoda ce utilizează acumularea diferențelor din imaginile procesate. Acești algoritmi dau dovadă de stabilitate și



robustește, chiar și în situația în care deplasarea relativă a trăsăturilor monitorizate în imagine este foarte redusă. Aceste metode sunt utilizate cu succes în analiza mișcării unor astfel de secvențe în care deplasarea obiectelor în imagine este redusă, iar precizia cu care aceasta este măsurată trebuie să fie ridicată.

Tehnologia actuală de captare a imaginilor, completată de tehnicile de vârf din domeniul procesării digitale a imaginilor, au permis descoperirea de noi algoritmi de analiză a imaginilor, detectare și urmărire a feței umane sau a obiectelor, precum și recunoașterea chipului uman.

Toate aceste descoperiri tehnologice recente sunt încorporate activ în sistemele actuale de monitorizare a feței umane, având rolul esențial de reprezentare a informației referitoare la dinamica expresiilor faciale descrise de chipul uman. Arhitecturile software dezvoltate pentru a analiza expresiile faciale ale subiectului uman pot fi clasificate după modul de lucru al acestora, și anume metode de analiză ce procesează o imagine statică, sau metode ce analizează o serie de imagini ce surprind dinamica regiunilor faciale.

- Tehnici ce utilizează analiza imaginilor statice – acestea prelucrează o singură imagine pentru a obține informația necesară clasificării expresiei faciale. Astfel de metode de analiză a expresiilor faciale au nevoie de o imagine cu subiectul uman monitorizat, în care acesta este surprins cu o expresie facială neutră, iar în acest mod imaginea este utilizată ca referință pentru analiza deplasărilor suferite de trăsăturile caracteristice chipului uman. Dintre sistemele implementate utilizând astfel de tehnici de analiză menționez cele realizate de [Baciu,2003], [Chen,2003], [Gao,2005], [Pantic,2000]. Acestea utilizează diferite proceduri de implementare ce furnizează rezultate comparabile, însă ideea de bază a structurii software rămâne analizarea unei singure imagini.
- Tehnici ce analizează o secvență de imagini – implementarea acestor metode pleacă de la premisa că o expresie facială poate fi monitorizată mai robust dacă evoluția trăsăturilor specifice acesteia este surprinsă cu ajutorul unei camere video și transformată într-o secvență de imagini. Performanțele camerei video de captură utilizată poate influența în mod pozitiv, dar și negativ precizia cu care sunt analizate expresiile faciale. Un aport la performanța algoritmului de monitorizare este adus dacă camera video este capabilă să achiziționeze imagini cu o rată ridicată, și astfel sistemul de analiză are o cantitate de informații semnificativ mai mare referitoare la dinamica expresiei faciale pe baza căreia aceasta poate fi clasificată. Dacă însă, în sistemul de monitorizare este integrată o cameră video a cărei parametri nu sunt corespunzători cu cerințele aplicației pentru care sistemul este conceput, performanțele acestuia vor fi semnificativ diminuate, deoarece componenta algoritmului responsabilă de învățarea și clasificarea expresiilor faciale nu va avea destule informații referitoare la mobilitatea regiunilor faciale. Fapt ce a rezultat prin eșantionarea cu un număr redus de cadre pe secundă a chipului subiectului monitorizat, ce a condus la surprinderea a mai puține etape intermediare ce caracterizează expresia facială. Extragerea mobilităților faciale și a dinamicii trăsăturilor faciale reprezintă scopul principal al acestor metode de analiză, informații ce sunt ulterior



reprezentate sub forma unor traiectorii spațiale sau ca informații spațio-temporale, pentru a caracteriza și clasifica expresiile faciale. Sistemele descrise de către [Essa,1997], [Tian,2001], [Cohen,2003], [Zhang,2003], au rezultate importante deoarece utilizează caracterul spațio-temporal al expresiilor faciale regăsit în secvențele de imagini prelucrate. Modul în care este reprezentată informația specifică expresiilor faciale constituie o modalitate de clasificare a acestor sisteme, iar din această perspectivă există:

- Metode spațiale de caracterizare – utilizează informația obținută din procesarea imaginilor referitoare la deformarea trăsăturilor specifice sau diferențele dintre imaginea ce conține expresia facială neutră și imaginile analizate de către sistem, diferențele dintre trăsăturile faciale importante. Sistemele având ca punct de plecare această metodă au fost implementate de către [Chen,2003], [Gao,2005]. Tehnicile acestor tipuri de algoritmi sunt foarte similare cu cele utilizate în recunoașterea chipului uman din imagini, deoarece realizează o descriere spațială complexă a trăsăturilor faciale utilă acestor algoritmi.
- Modalități ce utilizează reprezentarea informației sub forma unor traiectorii spațiale – organizarea informației referitoare la trăsăturile faciale, utilizând această metodă presupune calculul deplasării fiecărei trăsături faciale, sub forma unei traiectorii spațiale care face legătura între o expresie facială neutră și expresia facială monitorizată. Stabilitatea acestor metode [Tian,2001], depinde de precizia cu care sistemul face față la mobilitățile exercitate de trăsăturile faciale și la deplasarea chipului uman.
- Modalități mixte - de caracterizare ce folosesc caracteristici spațiale, cât și reprezentarea informației cu privire la expresia facială sub forma traiectoriei spațiale. Astfel de metode au fost implementate de către [Pantic,2000], [Pantic,2004], în algoritmi ce utilizează reprezentarea spațio-temporală pentru a caracteriza informația specifică mobilităților faciale. Tehnicile de caracterizare a mobilităților faciale pot fi grupate în funcție de tehnicile de procesare utilizate, în: procesarea directă a imaginilor, tehnici ce utilizează o modelare bidimensională pentru caracterizarea expresiilor faciale și metode ce au la bază un model tridimensional.
- Algoritmi de procesare a imaginii – astfel de algoritmi realizează o analiză asupra imaginii achiziționate, pentru a deduce informații referitoare la mobilitățile regiunilor faciale și deformările ce au loc în aceste regiuni specifice. Implementarea acestor metode presupune aplicarea unor etape de preprocesare a imaginii, precum: filtrări, operații morfologice, segmentare și altele, pentru a pune în evidență caracteristicile faciale monitorizate. Dinamica caracteristicilor faciale este măsurată prin intermediul unor metode specifice, ce oferă ca rezultat informații privind deplasările acestor regiuni.
- Algoritmi bazați pe un model bidimensional – utilizând un model bidimensional al feței umane. Astfel de algoritmi realizează o caracterizare a trăsăturilor faciale fără a ține cont de caracteristicile spațiale. Modelul bidimensional este realizat utilizând un număr de puncte localizate, astfel încât să caracterizeze principalele regiuni faciale. Caracterul dinamic al mobilităților faciale este modelat prin monitorizarea continuă a poziției acestor puncte și implementarea unor constrângeri de spațialitate a poziției acestora.



- Algoritmii bazați pe un model tridimensional – tehnicile ce utilizează modelarea tridimensională a chipului uman prezintă avantajul unei precizii mult mai bune, în comparație cu algoritmii de procesare directă a imaginilor și cei implementați, utilizând un model bidimensional. Avantajul rezultă din faptul că modelul tridimensional este capabil să țină cont de a treia coordonată a punctelor din componența modelului, realizând o poziționare mai precisă a punctelor din componența modelului. În comparație cu metodele prezentate anterior, această tehnică are o exactitate mult mai bună, însă prezintă dezavantajul unui timp mare de calcul, trebuie antrenate manual, iar performanța nu este întocmai cea mai bună.

În funcție de modalitatea de reprezentare a mobilităților faciale, tehnicile de analiză și monitorizare pot fi clasificate în tehnici ce utilizează aspectul trăsăturilor faciale și tehnici ce utilizează o descriere pe baza musculaturii faciale. Tehnicile de monitorizare a expresiilor faciale umane, ce folosesc aspectul caracteristicilor faciale, modelează expresiile faciale umane luând în considerare aspectul trăsăturilor faciale și informația extrasă din prelucrarea acestor trăsături.

Metodele de monitorizare ce utilizează dinamica musculaturii faciale își concentrează eforturile în direcția observării efectelor produse de mobilitățile faciale și modelarea dinamicii musculaturii faciale. Mobilitățile musculaturii faciale sunt modelate în spațiul tridimensional, fapt ce facilitează distribuția și analiza spațială a componentei dinamice regăsită în aceste mișcări. Aceste tehnici sunt utilizate în medii de tip realitate virtuală, pentru sintetizarea mobilității regiunilor faciale, datorită simplității cu care acestea pot implementa caracterul dinamic al regiunilor faciale. Caracterul complex al acestor algoritmi este atribuit de dificultatea cu care sunt stabilite relațiile între dinamica regiunilor faciale și mișcările mușchilor faciali.

Adoptarea unui model de reprezentare a trăsăturilor faciale constituie punctul de plecare în extragerea informației referitoare la caracteristicile faciale. Măsurarea acestora se va realiza prin metode care furnizează rezultate, astfel încât să fie în concordanță cu modelul de reprezentare. În diferitele arhitecturi de sisteme, utilizate pentru a analiza expresiile faciale, informația referitoare la mobilitățile regiunilor faciale sunt reprezentate utilizând mai multe metode. Există diferite modalități de reprezentare a informației referitoare la mobilitățile regiunilor faciale, fiecare modalitate prezintă avantaje și dezavantaje, de aceea în etapa de dezvoltare a sistemului de monitorizare trebuie aleasă metoda ce oferă sistemului cea mai mare performanță. Mobilitățile regiunilor faciale prezintă un caracter spațio temporal, deoarece caracteristicile faciale sunt variabile în timp și au o mobilitate compusă din mișcări tridimensionale a acestor regiuni.

Datorită caracterului spațio temporal descris de mobilitățile faciale, algoritmii ce realizează analiza expresiilor faciale utilizând o secvență de imagini și reprezintă mobilitatea acestor regiuni, folosind modelul spatio temporal și modelul traiectoriilor spațiale, au performanțe mai exacte. Expresia facială trebuie privită ca o mobilitate a întregului chip uman, astfel orice modificare survenită în aspectul sau poziția unei caracteristici specifice acestei regiuni, determină o schimbare a expresiei faciale. Modelarea expresiilor faciale folosind un model tridimensional este o metodă de actualitate care are rezultate performante. Sunt încă afectate de



condițiile de iluminare variabile și de timpul mare de calcul necesar algoritmului, de aceea acestea nu sunt încă capabile să realizeze o monitorizare în timp real a expresiilor faciale.

## 1.2. Sisteme de monitorizare a mobilității regiunilor oculare

Realizări importante în domeniul monitorizării mobilității umane au avut loc în decursul ultimilor ani, datorită dezvoltării tehnologiei utilizate de către aceste sisteme. Creșterea capabilităților de prelucrare a datelor, încorporată în ultimele procesoare apărute și înglobarea acestora în sisteme dedicate de monitorizare, prelucrare și analiză a informațiilor, au făcut ca aparatura din domeniul monitorizării ochiului să cunoască un real progres și o îmbunătățire a performanțelor. Performanțele sistemelor de monitorizare ce se bazează pe viziunea artificială sunt edificate și de implementarea unor algoritmi de prelucrare a imaginilor, versatili și fiabili.

Sistemele de monitorizare și analiză a mobilității regiunilor oculare umane sunt clasificate conform dezvoltării acestora, respectând în același timp criteriul performanței [Duchowski,2007]. Clasificarea sistemelor este prezentată în ordinea dezvoltării acestora:

- i. generația sistemelor de monitorizare având la bază metode invazive- metodele cele mai utilizate sunt: lentilele de contact ce au încorporată o bobină de căutare [Young,1975], [Carpenter,1977] și metoda electro oculografiei [Lawrence,2010];
- ii. generația sistemelor de monitorizare bazate pe oculografia cu metode foto și video [Americo,2005], [Yagi,2005], [Vilanueva,2006], [Hosseini,2008];
- iii. sisteme de monitorizare bazate pe achiziția analogică a imaginilor [Morimoto,2000], [Tan,2009], combinată cu fenomenul de reflexie a unei radiații infraroșii de către pupilă și corneă, îmbunătățind vizibilitatea regiunilor oculare [Silke,2004], [Castro, 2008];
- iv. sisteme digitale de ultimă generație ce monitorizează activitatea ochiului uman, utilizând imagini achiziționate în timp real, prelucrate cu algoritmi specializați în vederea artificială, de către o platformă dedicată DSP.

Monitorizarea mobilității oculare are ca scop estimarea punctului în care subiectul uman își focalizează privirea POR (point of regard) și mobilitatea pleoapelor. Estimarea poziției acestui punct este de real folos în dezvoltarea aplicațiilor de interacțiune între individul uman și calculator. Utilizând o aplicație specializată ce valorifică informațiile privind focalizarea privirii individului uman asupra unui obiect vizual component al aplicației, sistemul va determina realizarea unei acțiuni predefinite în concordanță cu punctul asupra căruia subiectul și-a focalizat privirea [Zhu,2004], [Morimoto,2005].

Sistemele de monitorizare și analiză a mișcărilor oculare pot extrage informații suplimentare referitoare la subiectul uman monitorizat, analizând următorii parametri: frecvența cu care subiectul uman clipește, durata etapelor intermediare componente ale clipitului, mișcările involuntare ale ochilor provocate de diverși stimuli [Bracha,2003], [Khan,2009], [Gunnar,2010]. Sistemele dezvoltate inițial: bobină de căutare, electro oculografia și oculografia bazată pe secvențe foto și video nu permiteau determinarea POR, deoarece toate prelucrările au avut loc



după achiziția datelor. Fiecare secvență de semnal sau fiecare cadru din imagine erau astfel prelucrate pentru a extrage informația necesară estimării POR, procedeu laborios și ineficient.

Dezvoltarea sistemelor ce îmbină achiziția de imagini cu ochii subiectului analizat și iradierea acestora cu un fascicul de radiație, având lungimea de undă în spectrul infraroșu, apare ca soluție la o problemă cu care se confruntă monitorizarea ochiului uman, și anume percepția diferită a zonelor oculare și influențarea vizibilității acestora de către condițiile de iluminare ale mediului în care se regăsește subiectul monitorizat [Silke,2004]. Metoda evidențiază zonele ochiului uman și realizează o imunizare a percepției acestora împotriva condițiilor de iluminare interioare, prin achiziția imaginilor cu o cameră a cărui senzor de imagine este sensibil în spectrul infraroșu. Avantajele procesoarelor digitale de semnal DSP, precum puterea de calcul ridicată și flexibilitatea sunt pe deplin utilizate prin încorporarea acestora în sistemele de monitorizare și analiză a ochiului uman, facilitând o creștere a performanțelor și a preciziei acestora. Crearea de metode neinvazive robuste pentru detectarea și clasificarea mișcărilor ochilor este foarte importantă pentru dezvoltarea de interfețe HCI (human – computer interaction), interfețe utilizator bazate pe atenția utilizatorului și studierea stărilor emoționale umane. Fiind caracterizați de trăsături vizuale unice, geometrice și de mișcare, ochii furnizează informațiile vizuale necesare: detecției feței umane, recunoașterii feței umane, recunoașterii expresiilor faciale. Pentru a argumenta importanța detecției ochilor umani, mulți algoritmi încorporați în sistemele moderne ce au ca scop detectarea feței umane au în componența fazei de căutare a trăsăturilor faciale, determinarea poziției ochilor [Han,2000], [Hsu,2002], [Wu,2003], [Wanga,2011], [Choi,2011]. Pentru o precizie îmbunătățită sunt prelucrate doar porțiunile din imagine ce conțin posibile perechi de ochi, mai departe luându-se în considerare distanța între ochi. Distanța între ochi servește la normalizarea trăsăturilor faciale și în algoritmi mai avansați, la realizarea unui model geometric adaptiv al feței umane, detectarea reperelor faciale și filtrarea zgomotului structural [Tsalakanidou,2010], [Jun,2011].

Precedând procesul de detectare se realizează o prelucrare intermediară a imaginilor, constând în scalarea și alinierea imaginilor. Deoarece locația ochilor și distanța intraoculară este relativ constantă pentru majoritatea oamenilor [Huang,2000], ochii sunt utilizați pentru normalizarea imaginilor. Localizarea poziției ochilor facilitează determinarea poziției altor trăsături faciale precum: nasul, gura, urechile [Zhang,2008], [Xiong,2010]. În domeniul detectării ochiului și monitorizării poziției sale, cercetările actuale sunt concentrate spre două direcții: localizarea ochilor în imaginea prelucrată și estimarea orientării privirii subiectului din acea imagine [Kima,2006], [Lee,2008].

Algoritmul de detecție a ochilor presupune evaluarea și validarea a trei aspecte principale: primul este detectarea existenței ochilor în imaginea prelucrată, al doilea este estimarea cu acuratețe a poziției ochilor pentru fiecare imagine prelucrată, iar un ultim aspect specific sistemelor video este monitorizarea poziției ochilor pentru fiecare cadru video achiziționat [Zhu,2002], [Kawato,2004], [Jib,2005]. O caracteristică importantă a sistemelor de detecție a ochiului este să poată determina poziția ochilor și caracteristicile sale îndeajuns de detaliat pentru a lua în considerare domeniul dinamic de forme și schimbările de iluminat ce influențează



procesul detecției. Modelul trebuie să fie de o dimensiune optimă pentru a eficientiza algoritmului de căutare [Santis,2009], [Xiong,2010]. Regiunile oculare prezintă similarități regăsite la toate rasele umane, sunt asemănătoare în condiții diferite de iluminare și perspectiva din care sunt privite. Chiar și pentru un singur individ uman, percepția regiunii ochiului uman este influențată de perspectiva din care este vizualizată.

Cu toate că este un domeniu de cercetare actual, detectarea ochiului și monitorizarea poziției lui, prezintă încă câteva aspecte care solicită dezvoltarea de metode mai performante pentru detecție și monitorizare. Aspecte ce influențează detecția sunt: suprapunerea pleoapelor peste ochi, gradul de deschidere a pleoapelor, variații ale nivelului de segmentare, gradul de reflexie a ochilor și poziția relativă a capului. Aplicații diverse ale sistemelor de viziune artificială sunt: monitorizarea indivizilor umani dintr-o incintă, prin identificarea și recunoașterea feței [Hsu,2002], [Wu,2003], detectarea feței umane [Wanga,2011]. Aplicații medicale precum analiza expresiilor faciale [Yang,2002], [Fasel,2003], se confruntă cu suprapuneri și variații dimensionale ale feței, și cu toate acestea perturbațiile nu au o amplitudine și o frecvență comparabilă cu cea întâlnită în cazul detecției ochilor. Imaginea ce conține ochii umani este caracterizată de distribuția intensității: pupilei, irisului și a corneei, dar și de informația cu privire la forma lor. Metodele actuale de detecție și monitorizare a poziției ochilor pot fi clasificate în două categorii [Fujimura,2002], metode active bazate pe iradierea ochiului cu o radiație în spectrul infraroșu, urmată de achiziționarea și prelucrarea imaginilor [Haro,2000], și metode pasive bazate doar pe achiziționarea și prelucrarea imaginilor.

Metodele active se bazează pe proprietatea ochiului de absorbție a radiației infraroșii, utilizând camere video sensibile în spectrul infraroșu, ce achiziționează imagini ale ochilor sensibilizați de radiația infraroșie. Imaginile prelevate au un contrast mai bun și zona ochiului este mai bine delimitată în imagine, astfel oferind o eficiență sporită și o simplitate metodei. Metoda este folosită cu succes pentru detectarea și monitorizarea poziției ochilor în medii închise, nefiind folosită în medii deschise, deoarece este susceptibilă la interferențele provocate de lumina ambientală. Efectele negative cauzate de variațiile în intensitate și direcție a luminii ambientale, pot fi compensate utilizând o sursă de lumină stabilă și o cameră apropiată de subiect.

Metodele pasive de detecție a ochilor iau în considerare caracteristici speciale ale acestora: distribuția de culoare și luminozitate, formă sau aspect. Modalitățile de abordare frecvent folosite din această categorie includ: metode de detecție a șabloanelor [Brunelli,1993], [Yang,2002], metoda spațiului valorilor proprii, [Pentland,1994], metoda transformatei Hough, [Dobres,2006]. În cadrul metodei de detecție a șabloanelor de diferite segmente din imaginea achiziționată sunt comparate cu segmente din șablonul principal, utilizând valori ale factorilor de corelație pentru evaluarea similarității cu șablonul principal. Nefiind o metodă foarte robustă nu poate trata situațiile în care ochii au variații: dimensionale, unghiulare, de iluminare și expresivitate. Transformata Hough a fost utilizată pentru detecția ochilor de către [Kawaguchi,2003], [Feng,2001], metodă ce detectează inițial forma și caracteristicile irisului, utilizând informații referitoare la minimele locale și marginile din imagine. Dezavantajul metodei este acela că



performanța depinde de valorile selectate pentru binarizarea minimelor și a marginilor din imagine.

Metodele recente folosesc pentru detecția ochilor informații despre: intensitate [Nassem,2005], orientarea liniei ce unește centrele ochilor, răspunsul la convoluția dintre un filtru parametric adaptiv ce definește ochiul și imaginea ce conține chipul uman. Utilizând detalii despre margine și intensitate [Yang,2002], a detectat poziția irisului în cadrul imaginilor analizate, și tehnicile principale utilizate în cadrul algoritmului de detecție dezvoltat de acesta sunt: șabloane de caracteristici, filtre de separație, transformata Hough și detectarea șablonului. Metoda dezvoltată de [Feng,2001], presupune aplicarea de filtre liniare și neliniare asupra imaginii de prelucrat, facilitând astfel detecția ochilor. Utilizând informații privind intensitatea și dimensiunile ochilor pentru a determina segmentele din imaginea în nuanțe de gri conținând ochii, [Wu,2003] utilizează cu succes relațiile geometrice dintre acestea pentru a filtra perechile de segmente eronate, ce pot fi interpretate ca perechi de ochi, iar la ieșire se va regăsi perechea de segmente cu răspunsul cel mai bun la filtrul aplicat. Aplicând operatori morfologici ca: închidere, erodare, dilatare asupra imaginii și efectuând clasificări asupra imaginilor rezultate [Han,2000] detectează segmentele din imagine ce conțin ochii subiectului.

Cercetările de actualitate rezolvă multe din problemele cu care se confruntă detecția automată a ochilor, și cu toate acestea fiind un subiect complex nu s-a reușit conceperea unui sistem robust care să ia în considerare toți factorii care îl pot influența. Factori ca: expresia facială, rotirea feței în planul imaginii și/sau în planul perpendicular cu acesta, suprapuneri și condiții de iluminare variabile, încă influențează algoritmi de detecție a ochilor.

Sistemele de monitorizare de ultimă generație ce încorporează tehnologii actuale precum: procesoare digitale de semnal, senzorii performanți de imagine, achiziția imaginilor cu un număr ridicat de cadre și o rezoluție ce permite o analiză precisă, precum și prelucrarea acestor imagini prin intermediul algoritmilor specializați, aduc contribuții esențiale acestui domeniu, facilitând realizarea de aplicații practice la nivel de utilizator prin simplificarea procedurii de calibrare.

### 1.2.1. Metoda bobinei de căutare

Măsurarea mișcărilor ochiului utilizând această metodă are cea mai bună precizie dintre toate metodele. Sistemul realizează măsurarea mișcărilor ochilor prin atașarea unei lentile pe suprafața globului ocular ce are incorporată o bobină. Primele măsurători utilizând această metodă au fost realizate de [Young,1975], iar tehnica de măsurare a evoluat, astăzi folosindu-se o lentilă de contact care este montată pe globul ocular al subiectului.

Principiul metodei constă în monitorizarea mobilității globului ocular, prin intermediul bobinei ce este poziționată în câmpul electromagnetic. Lentila de contact utilizată are dimensiuni relativ mari pentru a acoperi corneea și o secțiune din scleră. Dacă dimensiunile acesteia nu sunt suficient de mari pentru a acoperi și o secțiune din scleră, aceasta ar aluneca făcând imposibilă măsurarea mobilității oculare. Lentila de contact poate crea subiectului o senzație de disconfort, deoarece aceasta intră în contact cu suprafața globului ocular, astfel este considerată a fi o metodă

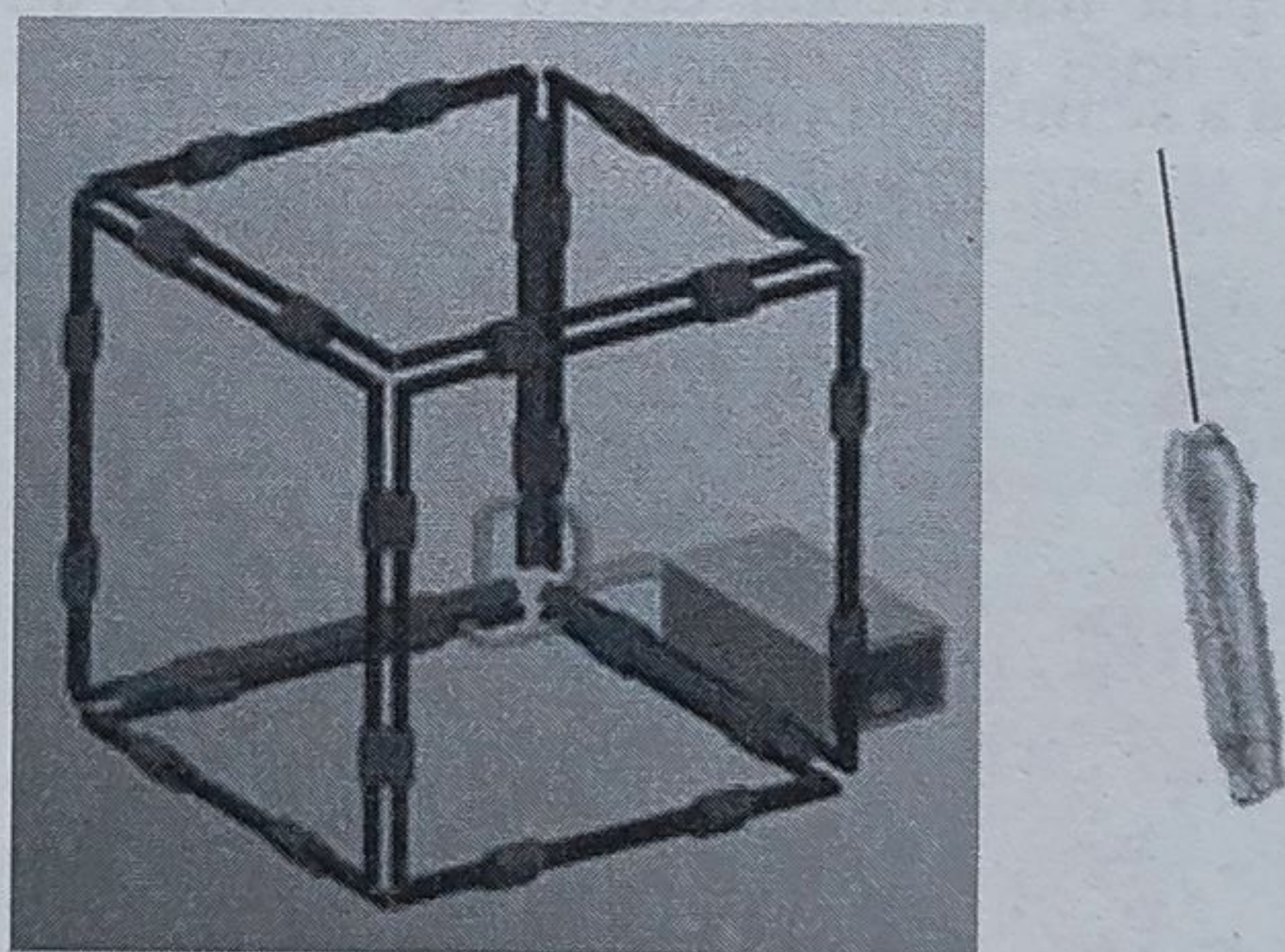


de măsurare invazivă. Întrucât este o metodă invazivă nu poate fi utilizată pentru estimarea punctului în care individul își focalizează privirea, deoarece sistemul măsoară mișcările relative ale ochilor în raport cu capul.



**Figura 1.1** Structura bobinei și poziționarea acesteia pe suprafața globului ocular

Bobina de căutare este încorporată într-o lentilă de contact după cum este prezentată în figura 1.1. Lentilă ce este poziționată pe ochiul uman în zona irisului, iar capul subiectului asupra căruia se face măsurarea este poziționat într-un câmp magnetic exterior variabil în cuadratură, în bobină se va induce o tensiune alternativă dependentă de poziția ochiului. Cea de a doua variantă a bobinei de căutare are dimensiuni reduse (diametru de 5mm) și este montată pe pleoapa superioară a subiectului, și aceasta este supusă acțiunii unor câmpuri magnetice orientate corespunzător celor trei direcții spațiale, datorită mișcării acesteia produsă de clipitul subiectului, se induce o tensiune dependentă de variația poziției pleoapei. În figura 1.2 este prezentată bobina de căutare și sistemul de generare a câmpurilor magnetice. Această metodă prezintă avantajul celei mai bune rezoluții și nu are limitări asupra mișcării ochiului și a pleoapelor. Dezavantajele acestei metode sunt descrise de disconfortul apărut după aproximativ 30 minute de utilizare și cu toate că dispune de o precizie bună este o metodă invazivă.



**Figura 1.2** Structura sistemului de generare a câmpurilor magnetice și bobina de căutare

### **1.2.2. Metodă de măsurare folosind o radiație infraroșie**

Această metodă își bazează funcționarea pe proprietatea ochiului uman de a absorbe radiațiile infraroșii, astfel un led ce emite radiații infraroșii în spectrul 880 - 900 nm este poziționat la o distanță de aproximativ 20 mm de ochiul subiectului, radiațiile reflectate sunt captate de

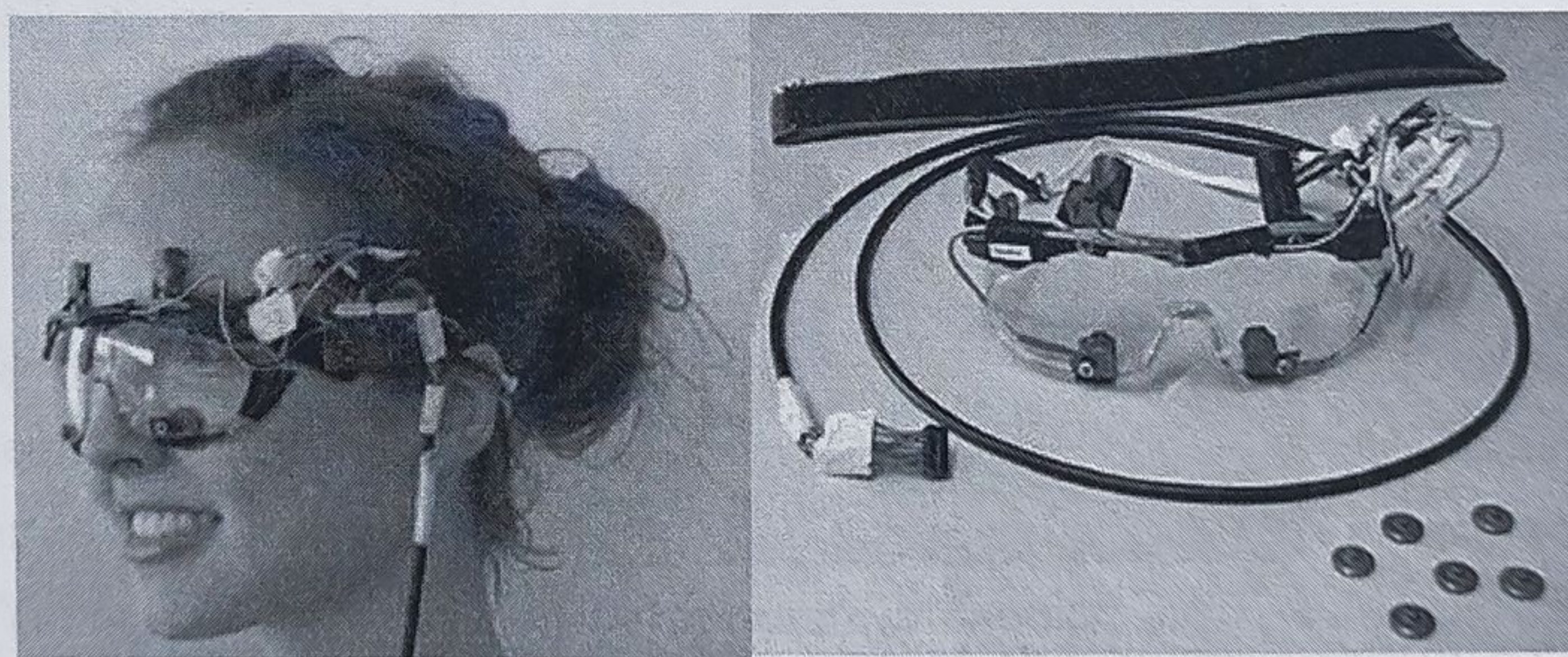


fotodiada aflată în imediata apropiere a ochiului, iar gradul de reflexie a fasciculului de radiație infraroșie depinde de poziția pleoapei în raport cu globul ocular. Această metodă elimină stimularea mecanică produsă de metodele invazive, iar această stimulare perturbă procesul de măsurare introducând erori de măsurare.

Măsurarea este influențată de sursele de radiații IR din zona apropiată locului măsurătorii, de aceea se folosește un semnal modulat la frecvența de 62 KHz, pentru emiterea radiației infraroșii. Suprafața iluminată de radiația infraroșie trebuie să acopere întreaga zonă a ochiului, astfel această metodă poate fi folosită în paralel cu o metodă video, un senzor video special conceput pentru a fi sensibil în spectrul radiațiilor infraroșii va achiziționa imagini cu o sensibilitate mult mai bună, îmbunătățind astfel precizia procesului de măsurare.

### 1.2.3. Metodă de măsurare electro-oculografică

Principiul de bază al electro-oculografiei constă în măsurarea diferenței de potențial electric ce apare pe suprafața pielii din zona cavității oculare, generată de activitatea musculară a sistemului ocular [Lawrence,2010]. Aceasta metodă măsoară diferențele de potențial, utilizând electrozi poziționați pe suprafața pielii în regiunea adiacentă globilor oculari. Sistemul măsoară diferențe de potențial în intervalul 10-200 $\mu$ V, cu o sensibilitate de 20 $\mu$ V pentru fiecare grad de deplasare a ochiului. Utilizarea acestei tehnici permite măsurarea mobilității regiunii oculare, având ca referință poziția capului subiectului monitorizat. Metoda poate fi folosită pentru determinarea zonei asupra căreia subiectul își focalizează privirea, fiind condiționată de monitorizarea simultană a poziției capului prin intermediul un sistem specializat. În figura 1.3 sunt prezentate componentele sistemului de măsurare, utilizând metoda electro-oculografiei: electrozii ce intră în contact cu pielea subiectului prin intermediul căroră se măsoară diferențele de potențial și sistemul de prelucrare numerică a semnalelor măsurate.



**Figura 1.3** Sistemul de măsurare utilizat de către metoda electro-oculografică

### 1.2.4. Metode de monitorizare a mobilității regiunilor oculare utilizând tehnici de procesare digitală a imaginilor

În momentul actual sunt disponibile diverse tehnologii pentru monitorizarea mobilității regiunilor oculare, precum: bobine de căutare, electro-oculografie, până la metodele moderne ce



încorporează algoritmi de procesare digitală a imaginilor. Fiecare dintre aceste sisteme are avantajele și dezavantajele sale, spre exemplu în cazul oricărui sistem există un compromis între precizie și rata de eșantionare.

Metoda monitorizării mobilității oculare, utilizând reflexia corneană a unui fascicul de radiație în spectrul infraroșu, analizată prin intermediul imaginii achiziționate cu o cameră video este cea mai des întâlnită metodă aplicată în cazul dezvoltării unei aplicații, ce presupune interacțiunea utilizatorului cu sistemul. Sistemele mai sus amintite funcționează prin achiziția de imagini ce captează ochiul subiectului iluminat de fasciculul infraroșu, procesarea imaginilor captate în scopul determinării coordonatelor (x,y) ale ochiului uman, în raport cu ecranul asupra căruia subiectul își orientează privirea.

Sistemele video de monitorizare sunt caracterizate de avantaje precum: sunt metode neinvazive, pot măsura mobilitatea oculară cu o precizie bună, aproximativ 1 grad vizual pentru fiecare 30 grade de măsurare, sunt ușor de integrat cu sistemele ce dispun de interfețe grafice de interacțiunea cu utilizatorul. Limitarea principală a sistemelor video de monitorizare este dată de rata de eșantionare dictată de numărul de cadre pe care îl poate achiziționa camera video într-o secundă, cel mai frecvent fiind de 60 cadre pe secundă. Prin urmare, un astfel de sistem poate furniza informații referitoare la mobilitatea oculară a subiectului monitorizat la fiecare 16ms, însă în mod normal pot apărea întârzieri cauzate de timpul de prelucrare pentru fiecare cadru de imagine și de timpul de actualizare a informațiilor pe monitorul calculatorului.

#### **1.2.4.1. Sistem de calcul a orientării privirii utilizând reflexia corneană**

Sistemul utilizează iluminarea globului ocular cu un fascicul de radiație infraroșie, pentru a realiza identificarea direcției de orientare a privirii pe baza procesării digitale a imaginii ce conține ochii umani. Această metodă este cunoscută ca fiind o metodă precisă de urmărire a orientării privirii în cadrul unui sistem ce utilizează algoritmi de procesare a imaginilor.

Direcționarea unui fascicul de radiație infraroșie către suprafața globului ocular produce reflexia acestei radiații și apariția pe suprafața corneei a unui punct luminos, a cărui poziționare este dependentă de orientarea privirii. Punctul de reflexie corneană este cunoscut sub denumirea de punct Purkinje, poziționarea acestuia relativ la pupilă face posibilă determinarea direcției de orientare a privirii. Sistemul este implementat pe baza metodei de urmărire a poziției reflexiei corneene, a cărei calibrare se realizează prin intermediul a două puncte de interes. Sistemul are în structură să componenta de determinare a poziționării globului ocular și sistemul de urmărire a direcției de orientare a privirii.

Sistemul de poziționare a globului ocular determină poziționarea tridimensională a globilor oculari prin intermediul a două camere video ce urmăresc în permanență mobilitatea regiunilor oculare. Cele două camere permit determinarea cu precizie a coordonatelor spațiale ce definesc poziția globilor oculari. Componenta sistemului responsabilă de urmărirea direcției de orientare a privirii este compusă din camera video sensibilă în spectrul infraroșu apropiat și un sistem de iluminare în spectrul infraroșu.



#### 1.2.4.2. Sisteme de captare a mișcărilor faciale

Mișcările faciale pot fi studiate cu o precizie bună, utilizând sisteme de prelucrare a imaginilor datorită subtilității mișcărilor executate de mușchii faciali. Pentru a facilita monitorizarea mobilităților faciale sunt plasate marcaje sub formă circulară (2mm diametru) în regiuni de interes regăsite pe fața subiectului uman. Sistemele actuale ce dispun de camere video cu o rezoluție ridicată, pot monitoriza mobilitățile întregului corp uman cât și mobilitățile faciale.

Poziționarea camerelor video trebuie fie realizată astfel încât acestea să poată surprinde subiectul uman, oriunde s-ar poziționa în spațiul monitorizat. De cele mai multe ori, sistemele de monitorizare a expresiilor faciale sunt utilizate pentru subiecții umani a căror poziție este statică, achiziția imaginilor este realizată cu o singură cameră video, a cărei câmp vizual include chipul subiectului uman.

Datele achiziționate sunt prelucrate pentru eliminarea mișcărilor capului și izolarea mișcărilor faciale, cauzate de activitatea musculară din regiunea facială. Configurația camerelor video utilizate pentru achiziția imaginilor folosite în analiza expresiilor faciale trebuie să acopere un unghi de 180-260 grade centrate în jurul capului subiectului, astfel subiectul poate roti chipul pentru captarea exactă a expresiilor faciale.

Camerele utilizate în cazul monitorizării mobilităților faciale trebuie să fie de înaltă rezoluție pentru a permite monitorizarea concomitentă, fără suprapuneri sau erori de poziționare, a cât mai multor marcaje plasate pe chipul subiectului. Figura 1.4 prezintă modalitatea de poziționare a camerelor pentru achiziție. Numărul de marcaje utilizate diferă în funcție de cerințele aplicației pentru care este utilizată monitorizarea.

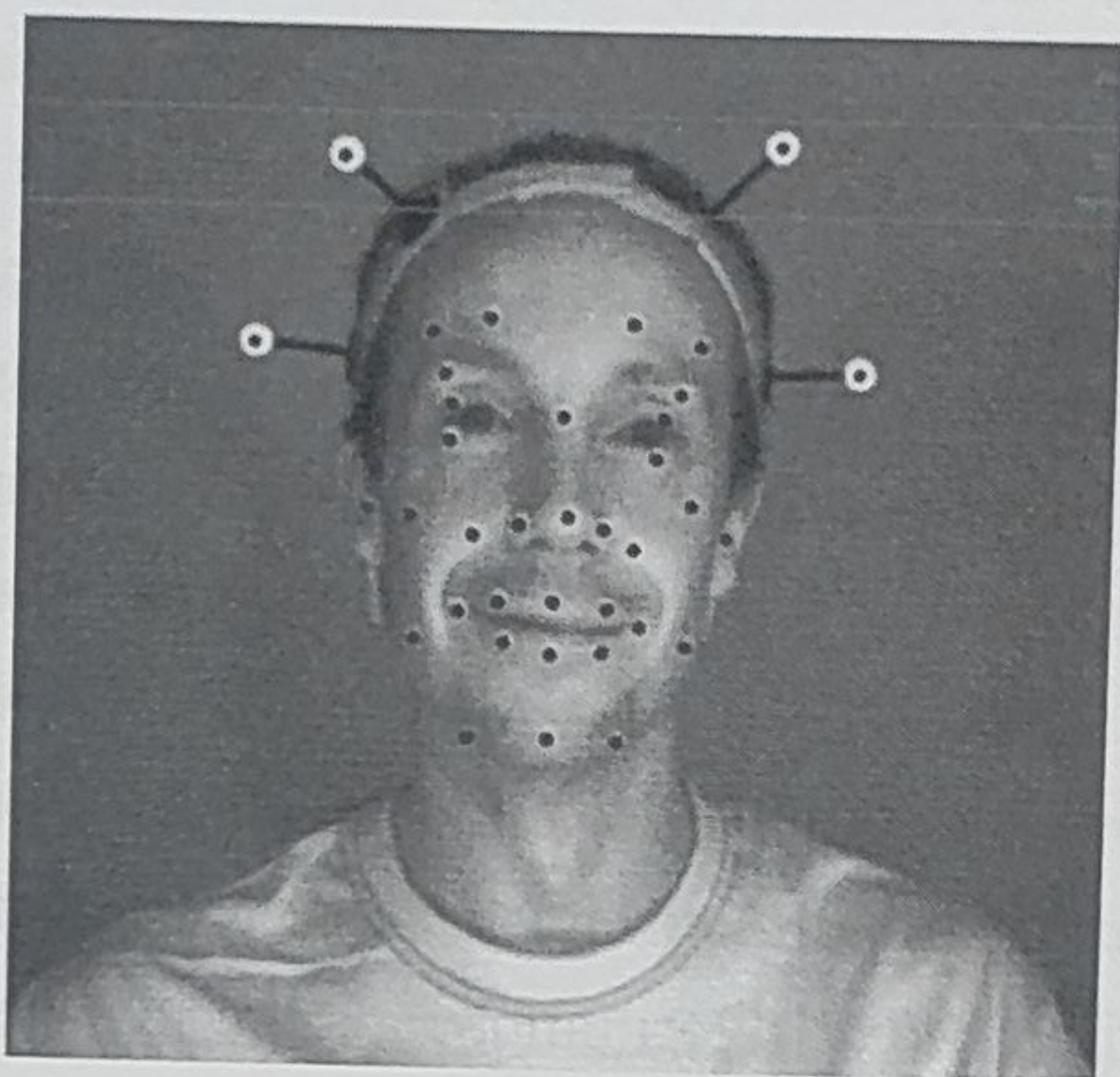


**Figura 1.4** Poziționarea camerelor video pentru monitorizarea facială

Pentru monitorizare se utilizează atât puncte stabile ce au rol de referință (punctele regăsite pe frunte și între ochi sunt evidențiate prin marcaje), cât și puncte a căror poziție are o dinamică dată de expresia facială a subiectului. La rândul lor aceste puncte sunt evidențiate prin marcaje.

Marcajele utilizate pentru mobilitatea oculară sunt cel mai greu de poziționat, deoarece acestea dispar atunci când subiectul ține ochii deschiși, poziționarea acestora trebuie să fie aleasă astfel încât marcajele să poată caracteriza mobilitatea regiunilor oculare.





**Figura 1.5** Amplasarea marcajelor pe chipul uman pentru a analiza mobilitatea regiunilor de interes

Figura 1.5 prezintă modul de poziționare a marcajelor ce urmăresc mobilitatea facială. Aplicația software determină poziția inițială a fiecărui marcaj, apoi realizează o monitorizare a dinamicii acestora pe parcursul întregii secvențe de imagini achiziționate. Informațiile privind deplasarea diferitelor marcaje sunt clasificate utilizând un algoritm de clasificare specializat, care va avea ca rezultat expresia facială a subiectului uman.

O dată clasificate aceste expresii și având întreaga gamă dinamică de variație în poziție a marcajelor, putem utiliza aceste informații în diferite aplicații. Spre exemplu, pentru a anima un caracter în mediul virtual sau pentru monitorizarea stărilor emotive ale unui individ uman.

### 1.3. Concluzii

În acest capitol sunt prezentate mai întâi principalele mobilități de analiză a mobilității regiunii faciale, în particular a regiunii oculare și tehnicile de detecție a chipului uman. Studiarea mișcărilor ochiului uman este o temă de cercetare actuală, deoarece ochiul furnizează individului informații vizuale ce stau la baza percepției sale asupra lumii reale. Constituind trăsătura cea mai proeminentă a feței umane, ochii și mișcărilor lor dețin un rol important în exprimarea emoțiilor și în relațiile interpersonale.

Cercetările actuale urmăresc crearea de metode neinvazive și robuste pentru detecția și clasificarea mișcărilor ochiului uman, ce au ca finalitate dezvoltarea de aplicații de interacțiune între individul uman și sistemele cu inteligență artificială ce implică atenția umană și aplicații de studiere a stărilor emoționale umane. Caracteristicile și mișcărilor ochiului uman sunt diferite pentru fiecare individ, datorită structurilor diferite din regiunea ochiului și a irisului, dar și a mișcărilor într-un domeniu dinamic pe care acestea le efectuează. Caracteristicile individuale includ: dimensiunea și culoarea irisului, dimensiunile pleoapelor, iluminarea și cantitatea de lumină reflectată de aceste suprafețe.

Caracteristicile vizuale unice aparținând ochiului uman sunt utilizate în cadrul sistemelor digitale de procesare a imaginilor ce au ca scop: detecția și recunoașterea feței umane,



recunoașterea expresiilor faciale. Principalii factori ce influențează detecția ochiului uman sunt: suprapunerea pleoapelor peste iris, gradul de deschidere a pleoapelor, variații ale nivelului de segmentare și gradul de reflexie a ochilor, poziția relativă a capului și gradul de reflexie a zonelor din vecinătatea ochiului, influențează negativ precizia și robustețea detecției ochiului uman. Componenta dinamică ce caracterizează ochiul uman, constituită din mișcări foarte rapide a pleoapelor în planul transversal, un întreg proces de clipit ce are o durată de câteva zeci până la câteva sute de milisecunde, iar mișcările involuntare ale pleoapelor au o durată de câteva zeci de milisecunde. Împreună cu modificări ale poziției irisului, determinate de mișcări ale globului ocular implică achiziționarea imaginilor ce monitorizează aceste procese, cu o viteză și rezoluție îndeajuns de mare pentru a permite analizarea cu o precizie bună a acestor mișcări.

Extinderea cercetărilor asupra algoritmilor integrați în sistemul de monitorizare are ca țintă dezvoltarea unor procedee de măsurare a parametrilor ce caracterizează clipitul subiectului uman, cum sunt: viteza, poziția pleoapelor, poziția globului ocular, frecvența clipitului, mișcări involuntare ale pleoapelor.



---

## CAPITOLUL 2

### Cadrul experimental definit pentru măsurarea mobilității regiunilor oculare

---



## 2.1. Proceduri experimentale de analiză a mobilității oculare

### 2.1.1. Protocolul experimental

Direcția de cercetare a prezentei lucrări a fost constituită de proiectarea și implementarea unui sistem de monitorizare și analiză a mobilității regiunilor oculare, utilizând tehnici de prelucrare digitală a imaginilor. Mobilitatea regiunilor oculare specifice subiecților umani analizați a fost măsurată prin integrarea de tehnici digitale de prelucrare a imaginilor, în structura sistemului ce realizează analiza secvențelor video achiziționate cu o camera video specializată. Vizibilitatea și caracteristicile specifice regiunilor oculare sunt susceptibile la influențele diversilor factori perturbatori. Factorii perturbatorii ce afectează procesul de măsurare a mobilității regiunilor oculare sunt următorii:

- reducerea vizibilității regiunilor oculare datorată condițiilor scăzute de iluminare;
- obturarea vizibilității regiunilor oculare cauzată de suprapunerea diverselor obiecte;
- orientarea și localizarea în imagine a chipului uman;
- dinamica ridicată a procesului de clipit.

Autorul a analizat influențele acestor factori asupra procedurii de măsurare a mobilității oculare și a decis implementarea unui algoritm de procesare a imaginilor care să realizeze diminuarea efectelor nedorite cauzate de acești factori. Implementarea sistemului de măsurare a mobilității pleoapelor s-a realizat prin considerarea constrângerile impuse de dinamica regiunilor oculare.

Constrângerile impuse sunt sintetizate prin următoarele:

- ▣ percepția acestora este influențată de condițiile de iluminare din mediul înconjurător;
- ▣ poziția chipului are o influență asupra modului în care regiunile oculare sunt vizibile;
- ▣ culoarea pielii din regiunile oculare poate diferi de la un individ la altul de aceea sistemul trebuie să fie capabil să detecteze aceste regiuni indiferent de subiectul uman;
- ▣ regiunile oculare sunt caracterizate de un domeniu vast corespunzător vitezelor cu care subiectul uman clipește, domeniu ce conține atât valori mici corespunzătoare mișcărilor voluntare, cât și valori ridicate ale vitezei de clipit în avans ca sursa a mișcărilor involuntare spontane.

Efectele acestor factori perturbatori au fost combătute de către autor prin adoptarea următoarelor soluții în ceea ce privește implementarea sistemului de prelucrare a secvențelor video:

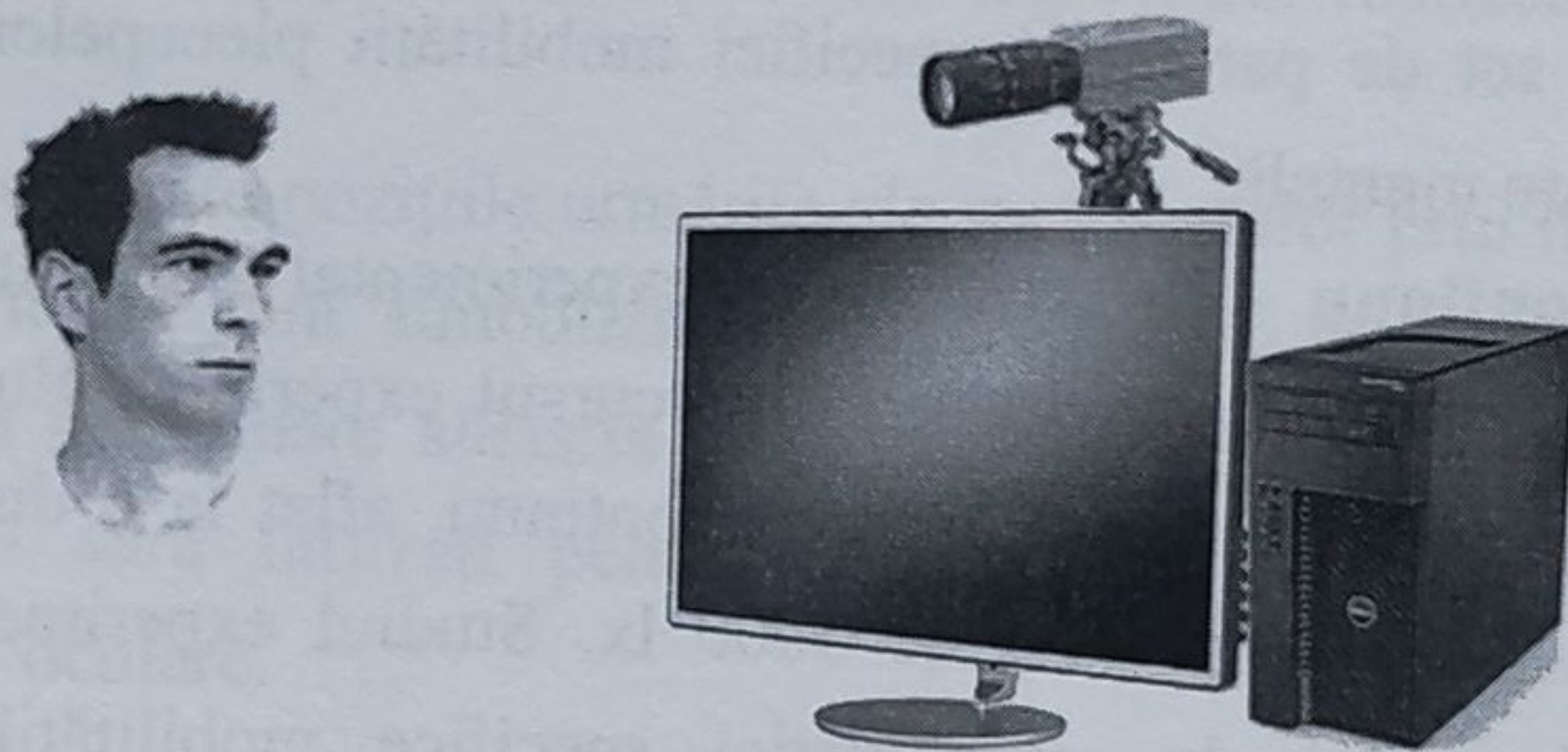
- ✓ reprezentarea imaginii în spațiul de culori HSL pentru separarea componentelor de culoare ce sunt influențate diferit de condițiile de iluminare;
- ✓ detecția chipului uman și a trăsăturilor faciale, ce a avut ca scop furnizarea cu precizie a informațiilor legate de poziția și orientarea chipului uman, dar și a unei referințe robuste descrisă de localizarea sprâncenelor;
- ✓ poziția sprâncenelor este urmărită pe parcursul secvenței video, în scopul determinării cu precizie a regiunilor oculare, chiar și atunci când subiectul uman nu are o localizare fixă în imagine;



- ✓ secvențele video prin care s-a realizat monitorizarea subiectului, pe durata unui procedeu experimental, au fost achiziționate cu un număr ridicat de cadre ce conferă procesului de măsurare o rezoluție bună în domeniul timp.

Datorită vitezei de variație a poziției zonelor oculare, achiziția imaginilor cu subiectul uman trebuie realizată cu o rată de achiziție suficient de ridicată pentru a surprinde etape intermediare ale mobilității oculare. Achiziția imaginilor este realizată cu o cameră video, cu o rată de achiziție ridicată, de 90 cadre pe secundă. Durata de achiziție a unui cadru corespunzătoare unei rate de 90 cadre pe secundă este de 11 ms. Sistemul a fost capabil să achiziționeze imagini ce realizează o eșantionare bună a mișcărilor efectuate de pleoapele subiectului. Subiecții au fost monitorizați pe parcursul a șase cazuri experimentale. Timpul alocat fiecărui cadru experimental a fost de 90 de secunde. Pe durata achiziției secvenței video din cadrul experimental, în care subiectul uman realizează o anumită sarcină, acesta adoptă o poziție relaxată și nu realizează mișcări bruște ale capului. Realizarea sarcinilor din cadrul procedeelelor experimentale implică interacțiunea subiectului cu interfața prezentată pe ecranul calculatorului. Camera video este amplasată în spatele ecranului și este focalizată, astfel încât câmpul vizual al camerei surprinde umerii și chipul subiectului.

Procedura de achiziție a secvențelor video este ilustrată în figura 2.1. Pe durata procesului de achiziție a imaginilor, distanța dintre subiectul uman și camera video este de stabilită la 120 cm. Localizarea subiectului uman la această distanță în câmpul vizual al camerei permite o bună percepție a caracteristicilor faciale.



**Figura 2.1** Procedura de achiziție a secvențelor video ce monitorizează subiectul uman pe parcursul procedeelelor experimentale

### **2.1.2. Procedee experimentale utilizate în analiza mobilității pleoapelor**

Studierea cu precizie a factorilor ce influențează mobilitatea regiunilor oculare s-a realizat prin analiza reacțiilor specifice fiecărui subiect uman din cadrul procedeelelor experimentale special concepute. În cadrul acestei teze termenul mobilitate oculară se referă la mobilitatea pleoapelor.

Pentru a crea condițiile specifice realizării procedeelelor experimentale, autorul a implementat o interfață de interacțiune ce solicită atenția subiectului uman. Mobilitatea pleoapelor este studiată prin stimularea subiectului cu diverși factori. Interfața este vizualizată de către subiect pe ecranul calculatorului, iar acesta realizează sarcina specifică pentru fiecare situație experimentală. Procedeele experimentale utilizate pentru analiza mobilității regiunilor oculare au fost următoarele:



- i. **Focalizarea privirii asupra unui punct fix** – în acest studiu experimental subiectului i s-a cerut să își focalizeze privirea asupra unui punct fix. Acest punct poate fi localizat pe ecranul calculatorului sau poate fi reprezentat chiar de obiectivul camerei video. Studiul a urmărit determinarea unui anumit model al caracteristicilor mobilității oculare, ce poate descrie apariția senzației de disconfort datorată timpului îndelungat de focalizare a privirii asupra punctului fix.
- ii. **Focalizarea privirii pentru urmărirea unui punct mobil** – acest studiu experimental a presupus o concentrare a atenției vizuale a subiectului asupra unui punct mobil reprezentat pe ecranul calculatorului. Deplasarea punctului este aleatorie și urmărește o traiectorie complexă necunoscută, având ca scop solicitarea cât mai accentuată a atenției vizuale a subiectului. Studiul a urmărit determinarea unui model al caracteristicilor mobilității oculare ce poate descrie o solicitare intensă a atenției vizuale.
- iii. **Orientarea liberă a privirii** - în acest studiu experimental atenția și concentrarea subiectului nu sunt solicitate, acesta își poate îndrepta privirea la liberă alegere. Studiul experimental a avut ca scop identificarea unui model în ceea ce privește caracteristicile mobilităților oculare ce pot fi utilizate pentru a descrie starea de relaxare a subiectului.
- iv. **Lecturarea unui text** – acest studiu experimental a presupus lecturarea unui text afișat pe ecranul calculatorului, prin intermediul interfeței grafice. Experimentul solicită atât atenția vizuală, cât și capacitatea de concentrare a subiectului pentru înțelegerea conținutului din textul lecturat. Utilizând acest studiu experimental, s-a urmărit determinarea unui set de parametri specifici mobilității pleoapelor, ce pot caracteriza starea de concentrare mentală.
- v. **Stimul luminos continuu** – în acest studiu experimental subiectului i s-a cerut să își focalizeze privirea spre camera video. Pe parcursul experimentului, sistemul vizual al subiectului este excitat de un stimul luminos continuu, aflat la o distanță de 160 cm de subiect și o intensitate luminoasă de 3000 lx. Studiul experimental a avut ca scop identificarea unui model de caracteristici specifice mobilităților oculare, ce pot caracteriza senzația de disconfort și posibila stare de oboseală creată de stimulul luminos puternic.
- vi. **Stimul luminos intermitent** – în acest studiu experimental subiectul a fost rugat să își focalizeze privirea spre camera video, pe parcursul experimentului sistemul vizual al subiectului este excitat de un stimul luminos intermitent cu o frecvență de 2 Hz, aflat la o distanță de 160 cm de subiect și având o intensitate luminoasă de 1500 lx. Studiul experimental a avut ca scop identificarea unui model de caracteristici specifice mobilităților oculare, ce pot caracteriza senzația de disconfort și posibila stare de oboseală creată de stimulul luminos puternic.

Cei opt subiecții umani care și-au dat acordul scris pentru a face parte din grupul țintă al acestui studiu experimental, au vârste cuprinse între 24 și 54 de ani, nu suferă de afecțiuni medicale care să le afecteze sistemul vizual și nu poartă ochelari de vedere. Grupul țintă a fost considerat omogen din punct de vedere al stării de sănătate a subiecților, prin urmare acesta a fost utilizat



pentru analizarea mobilității pleoapelor descrise de subiecții umani în cadrul celor șase situații experimentale prezentate. Omogenitatea grupului țintă a facilitat identificarea și confirmarea statistică a dependențelor dintre mobilitatea pleoapelor și situațiile experimentale analizate.

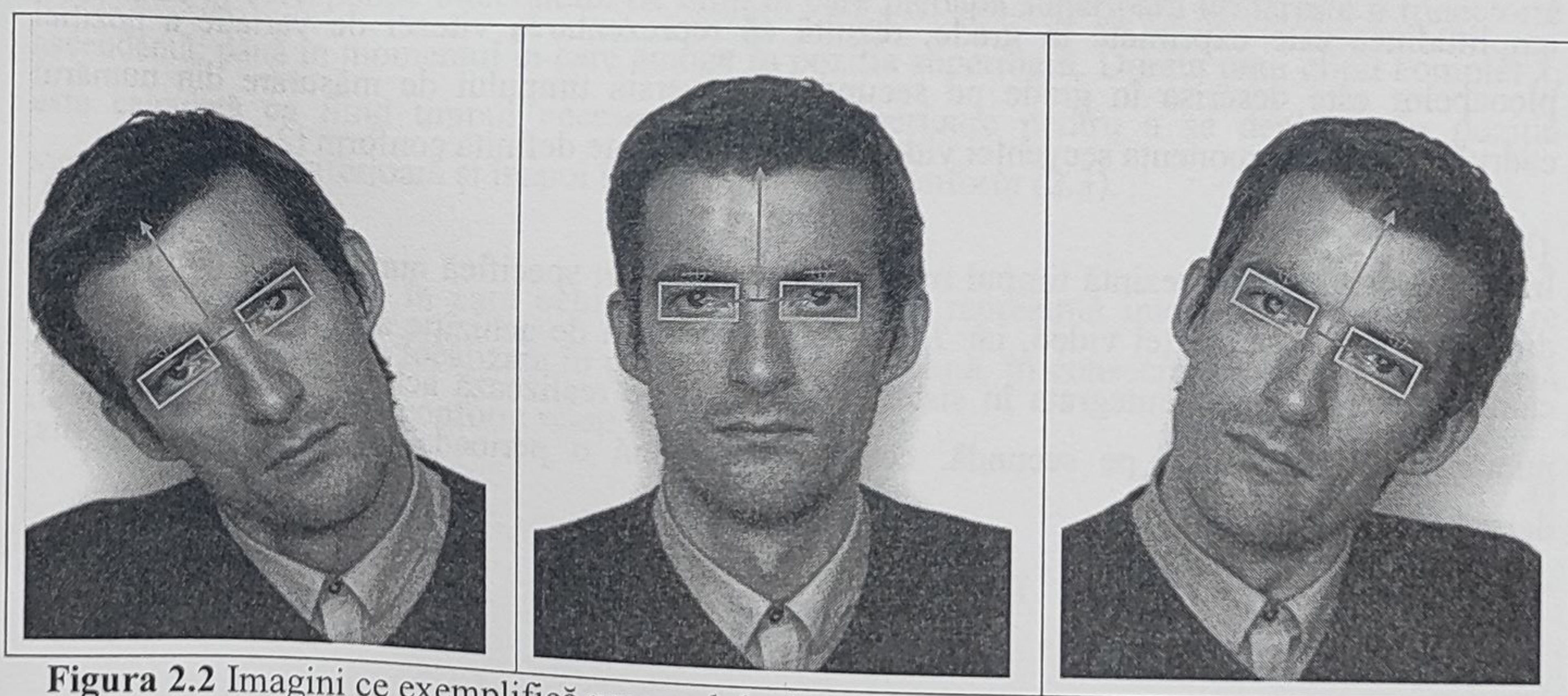
## 2.2. Parametrii experimentali monitorizați

### 2.2.1. Poziția și orientarea chipului uman. Localizarea caracteristicilor faciale

Algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor are ca primă componentă a structurii de procesare a secvențelor video, detecția chipului și a localizării în imagine a pozițiilor ochilor și a sprâncenelor. Deoarece subiectul poate avea orientări diverse ale chipului uman pe parcursul secvenței video, ce influențează vizibilitatea regiunilor oculare, s-a realizat detecția inițială a chipului și a localizării trăsăturilor faciale. Localizarea sprâncenelor este folosită ca referință pentru determinarea regiunilor oculare pe parcursul procesării cadrelor video.

Localizarea pleoapelor este folosită pentru inițializarea algoritmului de urmărire, ce realizează calculul pozițiilor în imaginea curentă, utilizând pozițiile cunoscute al acestora specifice imaginii precedente și fluxul optic determinat în vecinătatea punctelor urmărite. Autorul a dezvoltat această structură pentru a măsura mobilitatea pleoapelor, indiferent de poziția și orientarea chipului în imaginea analizată. În figura 2.2 sunt exemplificate diverse cazuri întâlnite în situațiile experimentale în care algoritmul realizează determinarea corectă a regiunilor oculare.

În figură sunt prezentate pozițiile urmărite ale sprâncenelor prin indicatorii de culoare roșie, unde regiunile de interes sunt simbolizate prin dreptunghiurile de culoare verde, orientarea chipului prin săgeata de culoare albastră și distanța dintre ochi prin săgeata de culoare roșie. Parametrii prezentați sunt utilizați pentru determinarea regiunilor oculare folosite pentru măsurarea mobilității oculare.



**Figura 2.2** Imagini ce exemplifică procesul de determinare a regiunilor oculare de interes prin urmărirea localizării sprâncenelor



### 2.2.2. Definirea parametrilor specifici mobilității pleoapelor

Studierea factorilor ce au implicații asupra mobilității pleoapelor a fost constituită de valorile parametrilor mășurați pentru fiecare subiect uman. Studiind parametrii rezultați în urma monitorizării subiectului, autorul a analizat datele obținute având ca obiectiv principal determinarea unei corespondențe între mobilitatea pleoapelor și activitățile desfășurate de subiect. Analizarea influențelor asupra mobilității regiunilor oculare s-a realizat prin considerarea factorilor precum:

- gradul de oboseală;
- senzația de disconfort;
- nivelul de concentrare;
- condițiile de iluminare;
- posibilele afecțiuni ale sistemului vizual semnalate de clipitul excesiv.

Măsurarea mobilității pleoapelor, utilizând algoritmul de măsurare descris anterior, are ca rezultat unghiul de deschidere a pleoapei superioare în raport cu pleoapa inferioară, exprimat în grade și determinat pentru cele două pleoape superioare din fiecare cadru al secvenței video analizate. Măsurătorile privitoare la mobilitatea pleoapelor sunt realizate având ca referință pleoapa inferioară, considerată ca având o orientare orizontală. Pleoapa inferioară a fost considerată o referință viabilă de măsurare a orientării pleoapei superioare, deoarece aceasta prezintă o mobilitate redusă, în comparație cu dinamica pleoapei superioare. În figura 2.3 este prezentată o porțiune din rezultatul măsurării mobilității pleoapelor superioare, în care au fost reprezentate și mărimile specifice utilizate în caracterizarea mobilității pleoapelor. Rezultatele măsurătorilor privind mobilitatea pleoapelor sunt normalizate în scopul extragerii corecte a caracteristicilor mobilității pleoapelor, descrise prin amplitudine, durata de timp specifică și viteza de variație.

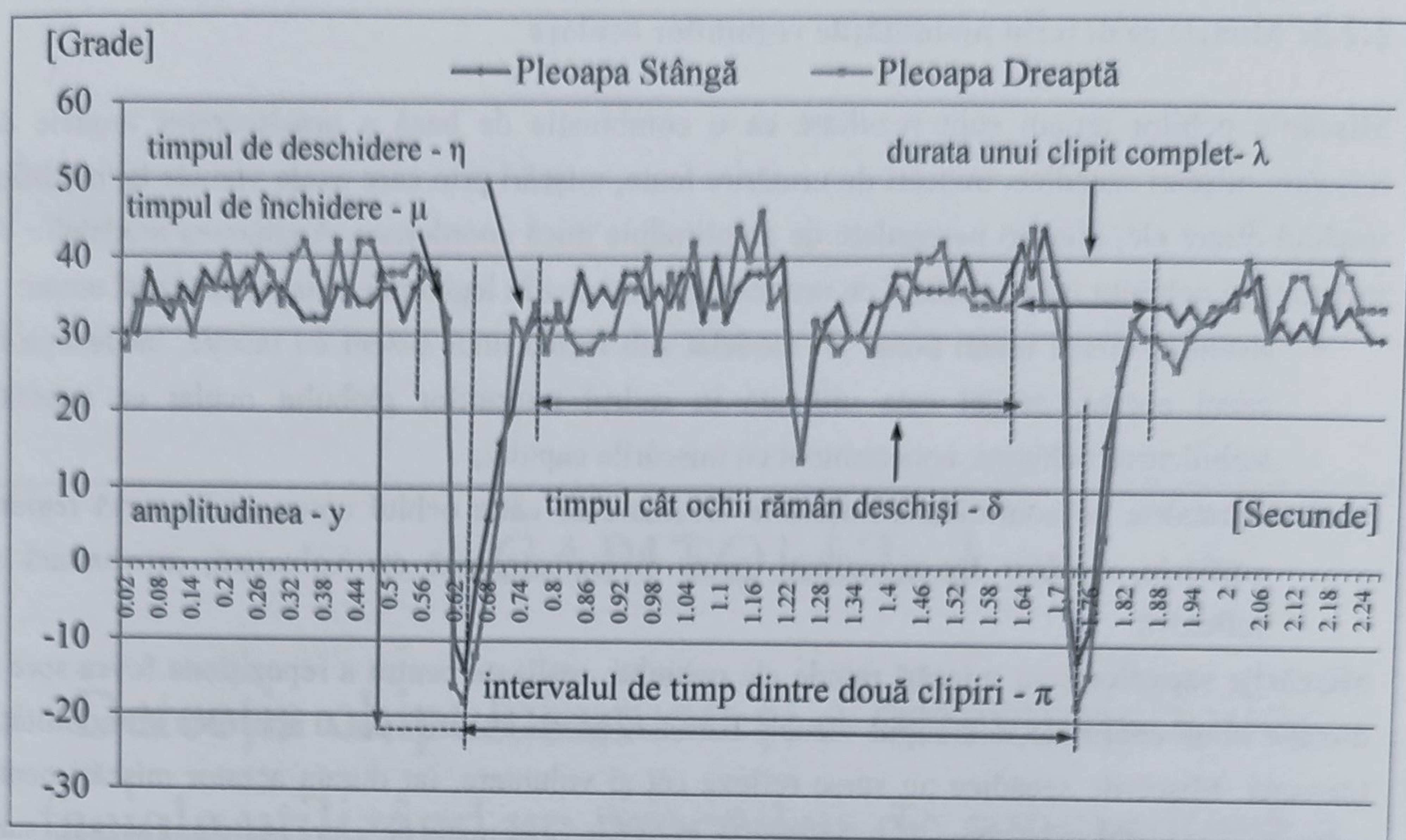
Amplitudinea mobilității pleoapelor este descrisă de către algoritm în grade și este măsurată pentru cele două pleoape superioare în fiecare cadru al secvenței video analizate. Deoarece amplitudinea este exprimată în grade, rezultă că reprezentarea vitezei de variație a poziției pleoapelor este descrisă în grade pe secundă. Conversia timpului de măsurare din numărul cadrului  $n$ , din componența secvenței video, în secunde  $t$  este definită conform (2.1).

$$t = n \times T \quad (2.1)$$

În această relație  $t$  reprezintă timpul măsurat în secunde,  $n$  specifică numărul cadrului imagine din componența secvenței video, iar  $T$  reprezintă perioada de achiziție a unei imagini de către camera video. Camera integrată în sistemul de achiziție realizează achiziția imaginilor cu un număr de 90 de cadre pe secundă, ceea ce înseamnă o perioadă de achiziție  $T=11$  ms, determinată conform (2.2).

$$T = \frac{1}{\text{numărul de cadre pe secundă}} \quad (2.2)$$





**Figura 2.3** Măsurări privind mobilitatea pleoapelor superioare și definirea parametrilor specifici

Amplitudinea  $y$  corespunzătoare clipitului este determinată de orientarea liniei caracteristice pleoapei superioare pentru fiecare cadru procesat. Intervalul de timp dintre două clipiri succesive  $\pi$ , este măsurat în milisecunde și reprezintă intervalul de timp măsurat din momentul în care pleoapa superioară se află în poziția cea mai de jos, stadiu în care ochiul este închis. Durata unui clipit complet  $\lambda$ , a fost considerată ca fiind intervalul de timp în care pleoapa efectuează un ciclu complet prin închidere, deschidere. Timpul de închidere a pleoapei  $\mu$ , a fost considerat ca intervalul de timp în care pleoapa se închide urmând o traiectorie descendentă, până acoperă în totalitate suprafața globului ocular. Măsurarea acestui timp specific se oprește atunci când pleoapa se afla în poziția cea mai joasă, acoperind complet globul ocular. Timpul de deschidere  $\eta$ , corespunde intervalului de timp în care pleoapa superioară urmărește o traiectorie ascendentă, până în momentul în care ajunge în poziția superioară. Durata unui clipit complet  $\lambda$ , este calculată ca fiind timpul necesar pleoapei superioare pentru a se deplasa din poziția superioară în cea inferioară și înapoi în cea superioară, conform (2.3).

$$\lambda = \mu + \eta \quad (2.3)$$

Intervalul de timp în care ochii rămân deschiși  $\delta$ , reprezintă intervalul de timp în care pleoapa superioară este localizată în poziția cea mai ridicată, în consecință o secvență completă de clipit  $\Sigma$ , este definită conform relației (2.4).

$$\Sigma = \mu + \eta + \delta \quad (2.4)$$



### 2.2.3. Modele ce descriu mobilitățile regiunilor oculare

Mișcările ochilor umani sunt rezultate ca o combinație de bază a următoarelor modele de mișcare: mișcări sacadice, mișcări de urmărire lente, mișcări prin care axele vizuale își modifică unghiul dintre ele, mișcări neregulate de amplitudine mică coordonate. Analizarea modelelor de mișcare ale ochiului uman coincid cu următoarele remarci în legătură cu sistemul vizual uman:

- sistemul vizual uman poate fi modelat sub forma unui sistem cu reacție, iar reacția în cazul acestui model este utilizată în cadrul mișcărilor globului ocular ce necesită stabilizarea ochiului, concomitent cu mișcările capului;
- semnalele ce controlează mișcările efectuate de către ochiul uman au ca sursă regiuni corticale, a căror funcționalitate poate fi caracterizată ca: voluntară, involuntară și reflexivă.

**Mișcările sacadice** sunt mișcări rapide ale ochiului, realizate pentru a re poziționa fovea spre o direcție nouă conținută în câmpul vizual. Totodată aceste mișcări pot fi specifice și mobilității pleoapei. Mișcările sacadice au surse reflexe cât și voluntare, iar durata acestor mișcări poate varia în intervalul 10-100ms [3]. Mișcările sacadice, efectuate de către sistemul vizual, sunt considerate având ca origine dorința voluntară a subiectului uman de a își schimba zona de focalizare a atenției vizuale.

**Mișcările de urmărire lente** sunt realizate atunci când subiectul uman urmărește un obiect aflat în mișcare. În funcție de viteza de deplasare a obiectului urmărit ochii umani sunt capabili să își adapteze poziția pentru a avea o vedere cât mai bună a acestui obiect. Mișcările de urmărire realizate de ochiul uman pot fi modelate ca un sistem cu reacție negativă, conform [4]. Mișcările de fixare sunt realizate pentru stabilizarea privirii asupra unui anumit obiect staționar, [5]. Mișcarea de stabilizare este compusă din următoarele micro mișcări efectuate de ochiul uman: micro sacade, mișcări de alunecare și mișcări de vibrație (tremur). Conform măsurărilor statistice, referitoare la durata mișcărilor de fixație, acestea au un interval de variație cuprins între 150 ms și 600 ms. Mișcările de fixație corespund cu dorința subiectului uman de a își menține orientată privirea asupra unui obiect.

**Mișcările neregulate de amplitudine mică (nistagmus)** sunt mișcări complementare a căror variație în timp poate fi definită de un semnal de tip dinte de fierăstrău. Această mobilitate este caracterizată de o mișcare de urmărire compusă cu mișcări sacadice, pentru a compensa mișcarea obiectului urmărit.



---

## CAPITOLUL 3

### Detecția chipului uman și a caracteristicilor faciale utilizând un procedeu de segmentare a culorii pielii

---



### 3.1. Considerații privind implementarea algoritmului de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale

Procesul de detectare a chipului uman constituie o componentă importantă în aplicații precum comunicarea om sistem cu inteligență artificială și sisteme de supraveghere video. Chipul uman, prin trăsăturile faciale specifice are un rol important în exprimarea dorințelor, înțelegerea proceselor cognitive și a stărilor emoționale ale unui subiect uman. De asemenea, chipul facilitează relațiile interpersonale dintre indivizii umani.

Analizând mobilitățile regiunilor faciale se poate realiza o transformare a acestora în instrucțiuni înțelese de un sistem cu inteligență artificială. Integrarea facilităților oferite de sistemul de detecție a chipului uman și de urmărire a mobilităților faciale în cadrul unei aplicații de interacțiune om-mașină permite realizarea unei comunicări facile. Detectarea chipului uman și urmărirea mobilității regiunilor oculare fac parte din categoria de operații specifice procesării de imagini cu aplicații complexe în diverse domenii: interfețe de comunicare om-mașină [Xiong,2008], supraveghere și securitate [Zhao,2003], [Daijin,2009], [Riad,2008], sisteme de realitate virtuală [Zhao,2002], [Dubois,2010] și aplicații biomedicale [Scot,2005], [Dijana,2009].

O caracteristică esențială a sistemelor actuale de procesare a imaginilor este reprezentată de capacitatea de a prelucra în mod automat imaginile achiziționate. Algoritmii ai căror principale obiective sunt reprezentate de localizarea chipului uman și urmărirea caracteristicilor faciale sunt utilizate cu succes în aplicații biomedicale ce monitorizează starea și reacțiile subiectului uman.

Aplicațiile biomedicale ale căror principale obiective sunt monitorizarea și analiza unui subiect uman prezintă în general următoarele funcționalități integrate: recunoașterea chipului uman, recunoașterea expresiilor faciale, urmărirea mobilităților, estimarea orientării și poziției chipului uman. Sistemele de detectare a chipului uman constituie o direcție importantă de cercetare datorită aplicabilității și a caracterului inovativ adus de dezvoltarea de noi algoritmi și tehnici de procesare. Localizarea feței umane reprezintă o componentă importantă în cadrul sistemelor ce monitorizează regiunile oculare în scopul achiziției de informații referitoare la subiectul uman.

Poziționarea cu precizie a chipului uman conferă un aport de performanță constituind o referință stabilă pentru procesul de urmărire a caracteristicilor faciale. În cadrul aplicațiilor în care chipul uman are un rol important pentru extragerea de informații referitoare la subiectul uman, determinarea poziționării în imagine a chipului uman constituie componenta a sistemului. Determinarea cu precizie și acuratețe a poziției feței umane în imagine este un factor important ce influențează performanțele și robustețea sistemului de prelucrare a informațiilor provenite de la chipul uman. Metodele utilizate de către sistemele de prelucrare a imaginilor pentru a determina poziția chipului uman în imagini pot fi grupate în următoarele categorii [Chaves-Gonzalez,2010].

- i. **Metode bazate pe cunoaștere**, aceste metode utilizează cunoștințele în ceea ce privește grupul de caracteristici regăsite în imaginea analizată ce pot constitui caracteristici faciale fiabile pentru detecția chipului;



- ii. **Metode bazate pe caracteristici invariabile**, aplicarea acestor metode are ca scop determinarea caracteristicilor structurale invariabile din imaginea analizată, ce sunt particularizate de imunitatea lor la schimbările condițiilor de iluminare;
- iii. **Metode bazate pe asemănarea dintre șabloane**, aceste metode utilizează un procedeu de corelație aplicat între imaginea de intrare și șablonul de referință pentru a determina gradul de asemănare între cele două șabloane și implicit poziționarea chipului uman în imagine. Șabloanele stocate caracterizează prin intermediul diferitelor perspective utilizate, trăsăturile faciale specifice analizate pentru determinarea poziției feței;
- iv. **Metode ce utilizează aspectul tipic al caracteristicilor faciale**, aceste metode învață variațiile caracteristicilor specifice dintr-un set reprezentativ compus din imagini de antrenare. Pe baza datelor extrase prin prelucrarea variațiilor caracteristicilor faciale specifice, aceste tehnici sunt capabile să determine gradul de similaritate între informațiile învățate și un set de caracteristici din imagine.

Detectarea regiunilor de piele umană utilizând procedee de segmentare a culorilor a fost utilizată cu rezultate concludente în aplicații precum: realitate virtuală, urmărirea mâinilor subiectului uman, detectarea chipului uman, recunoașterea chipului uman [Ikeda,2003], [Naseem,2005], [Chen,2005], [Lai,2006]. Cu toate că reprezintă o tehnică integrată în multe aplicații recente nu s-a ajuns la o decizie unanimă cu privire la spațiul de culori optim pentru implementarea procedurii de segmentare a imaginii în funcție de culorile de interes.

Metodele folosesc diverse spații de culoare pentru a eticheta pixelii din imaginea analizată ca făcând parte din regiunile ce identifică cu precizie pielea umană. Studii concludente referitoare la aplicarea spațiilor de culoare în algoritmi de segmentare a imaginilor pentru identificarea pielii umane, analizează performanțele următoarelor spații de culoare: RGB [Naseem,2005], [Cooray,2005], [Yamada,2005], [Phan-Ngoc,2006], [Ramos,2006], HSV [Phung,2002], [Kim,2004], [Yang,2004], [Sigal,2004], [Qiang,2005], [Sawangsi,2005], [Lai,2006], YCbCr [Dios,2004], [Karungaru,2004], [Campadelli,2005]. Aceste studii confirmă faptul că diferența majoră dintre culorile pielii umane este reprezentată de variația de nuanță a culorii și mai puțin semnificativă este variația de saturație.

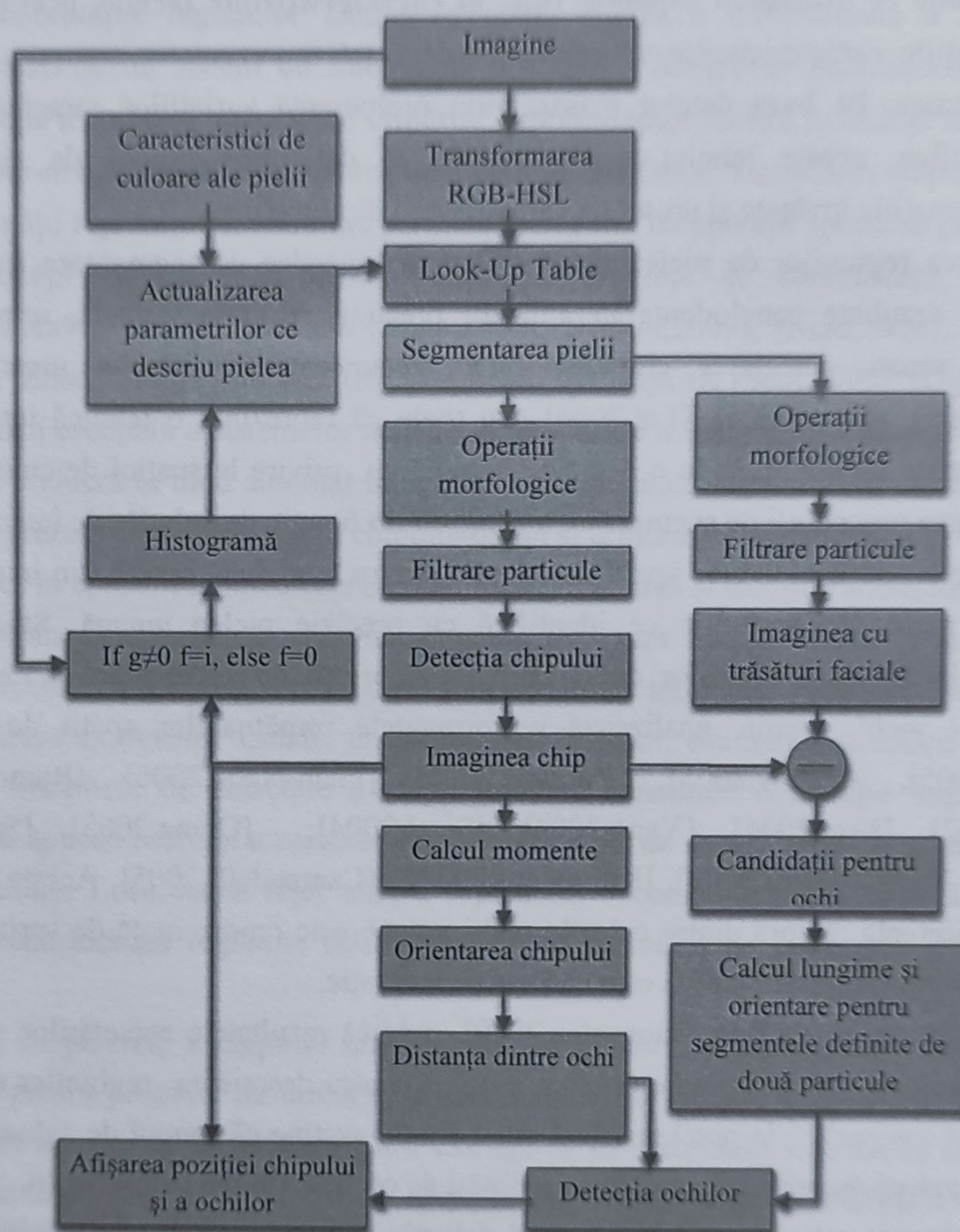
Un studiu recent [Chaves-Gonzalez,2010], publică rezultatele cercetărilor efectuate pentru determinarea spațiului de culoare cel mai potrivit pentru descrierea regiunilor de piele umană. Realizând o comparație la nivel de pixel acest studiu susține că spațiul de culoare cu HSV(hue, saturation, value) prezintă cele mai bune abilități de caracterizare a culorii pielii.

În continuare este prezentată o metodă detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale ce utilizează culoarea pielii pentru determinarea regiunilor de interes. Deoarece utilizează informațiile referitoare la culoarea pielii algoritmul dezvoltat este clasificat ca făcând parte din categoria metodelor bazate pe caracteristici invariabile. Implementarea algoritmului permite localizarea chipului uman în condiții de iluminare variabile.



### 3.2. Algoritm de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale

În cele ce urmează este descris un algoritm propriu de detectare a chipului uman și a caracteristicilor faciale bazat pe segmentarea culorilor pielii, ce a fost dezvoltat și testat de către autor în cadrul cercetărilor legate realizarea unui sistem neinvaziv de măsurare a mobilității pleoapelor. Acest algoritm are structura prezentată în figura 3.1. Algoritmul este structurat în două etape principale: 1) detectarea chipului uman și 2) extragerea trăsăturilor faciale caracteristice.



**Figura 3.1** Arhitectura algoritmul de detectare a chipului uman și a caracteristicilor faciale

Fiecare din cele două etape componente ale algoritmului de procesare a imaginii utilizează pentru detectarea chipului și a caracteristicilor faciale atât informații legate de culoarea pielii, cât și descriptori de momente pentru particulele din imagine. Metoda de prelucrare a imaginii este proiectată astfel încât să permită determinarea cu precizie a poziției chipului uman în imagine și localizarea robustă a ochilor și sprâncenelor în condiții de iluminare variabile. Pentru atingerea scopului final al cercetărilor aferente acestei teze, și anume dezvoltarea unui algoritm de



monitorizare și măsurare a mobilității regiunilor oculare, etapa responsabilă cu detectarea chipului uman și a caracteristicilor faciale are un rol esențial.

În structura finală a algoritmului, detectarea chipului uman și a caracteristicilor faciale furnizează date relevante cu privire la poziționarea chipului în imagine cât și a ochilor, și a sprâncenelor, având ca referință chipul uman. Datele referitoare la poziționarea trăsăturilor faciale sunt mai apoi utilizate de către algoritmul de urmărire a regiunilor de interes.

Determinarea cu precizie a poziționării trăsăturilor faciale are un rol important în urmărirea exactă a regiunilor de interes. Cunoașterea precisă a poziției trăsăturilor faciale conduce spre o determinare corectă a regiunilor specifice, utilizate pentru monitorizarea mobilității oculare. Măsurările referitoare la mobilitatea regiunilor oculare sunt realizate utilizând regiunile de interes, a căror localizare este urmărită în fiecare imagine.

### 3.2.1. Evidențierea regiunilor ce descriu pielea umană

Pielea umană poate fi caracterizată de aceeași culoare fără a avea o dependență de rasa umană. Diferențele dintre o piele ce are o culoare mai închisă și o piele ce are o culoare mai deschisă este dată de componenta de saturație a culorii.

Regiunile de piele caracterizate de o culoare mai închisă sunt descrise de o valoare mai mare a saturației culorii, percepția nuanței de culoare ce caracterizează regiunea de piele umană este puternic influențată de condițiile de iluminare ambientală. Această dependență a nuanței de culoare, față de nivelul de iluminare, influențează rata de detecție a chipului uman și localizarea ochilor și sprâncenelor în imaginea analizată. Unghiul de incidență, dintre direcția luminii ambientale și suprafața pielii umane, poate face ca anumite caracteristici faciale să fie invizibile, în cazul în care achiziția imaginilor este făcută într-un mediu unde iluminatul este natural.

O soluționare a acestei probleme constă în controlarea direcțională a luminii ambientale, în locația în care este efectuată achiziția de imagini, astfel încât caracteristicile faciale ce determină regiunea de interes să fie cât mai vizibile. În timp ce această metodă este clasificată ca fiind o metodă de soluționare hardware, utilizarea celor două componente de culoare (nuanța, saturația) din spațiul de culoare HSL(hue, saturation, luminance), pentru a descrie culoarea unui pixel ce definește pielea umană este o soluție mai robustă, ce nu implică timpi de configurare a echipamentului hardware și are avantajul că este imună la variația condițiilor de iluminare.

Inițial imaginea achiziționată are o reprezentare a culorilor descrisă de spațiul de culoare RGB (red, green, blue), acesta având dezavantajul că este influențat de nivelul și orientarea luminii naturale. Din acest motiv, reprezentarea culorilor ce descriu pixelii, din care este formată imaginea, este transformată din spațiul RGB în spațiul de culoare HSL. Componentele ce descriu culorile în acest spațiu sunt: H (hue) nuanța de culoare ce caracterizează culoarea pielii, S (saturation) această componentă este responsabilă de saturația culorii, L (luminance) ce specifică luminanța (luminozitatea) culorii. Reprezentarea culorilor prin intermediul spațiului HSL utilizează avantajul separării și invarianței componentei nuanța de culoare H, față de componenta



luminanță  $L$ , pentru a descrie în mod precis un pixel ce reprezintă pielea umană. Conversia reprezentării culorii din spațiul RGB în spațiul HSL este realizată utilizând formula (3.1).

$$\begin{aligned}
 M &= \max(R, G, B) \\
 m &= \min(R, G, B) \\
 H &= \begin{cases} 0, & \text{if } M - m = 0 \\ \frac{255}{360} \times \left( \frac{60 * (G - B)}{M - m} + 0 \right), & \text{if } M = R \text{ and } G \geq B \\ \frac{255}{360} \times \left( \frac{60 * (G - B)}{M - m} + 360 \right), & \text{if } M = R \text{ and } G < B \\ \frac{255}{360} \times \left( \frac{60 * (G - B)}{M - m} + 120 \right), & \text{if } M = G \\ \frac{255}{360} \times \left( \frac{60 * (R - G)}{M - m} + 240 \right), & \text{if } M = B \end{cases} \\
 S &= \begin{cases} 0, & \text{if } M = 0 \\ 255 \times \left( \frac{M - m}{M} \right), & \text{if } M \neq 0 \end{cases} \\
 L &= \frac{1}{2} \times (M + m)
 \end{aligned} \tag{3.1}$$

Transformarea reprezentării culorilor din spațiul RGB în spațiul HSL este implementată utilizând componentele de culoare din structura celor două spații și anume:  $H$ ,  $S$ ,  $L$ ,  $R$ ,  $G$ ,  $B$ . Fiecare componentă de culoare din structura celor două spații are un domeniu de variație descris de intervalul  $[0, 255]$ . Regiunile din imagine ce descriu cu acuratețe pielea umană sunt caracterizate de variații ale celor trei componente de culoare, în intervalele:  $H$   $[8-46]$ ,  $S$   $[5-45]$ ,  $L$   $[30-140]$ .

Intervalele de culoare din spațiul HSL, ce descriu pielea umană, sunt prezentate în Figura 3.2. Un pixel caracterizat de o culoare ale cărei componente au valori în intervalele descrise este considerat ca fiind un pixel ce descrie o regiune de piele umană. Intervalele specifice spațiului HSL, ce definesc culori specifice pielii umane, au fost determinate prin prelucrări experimentale a diverse imagini ce conțin subiecți umani din rase diferite, cât și prin consultarea bibliografiei recente din acest domeniu. Studiile efectuate asupra algoritmului au demonstrat că intervalele definite pentru cele trei componente ale spațiului HSL descriu în mod corect culorile pielii, ținând seama de variațiile specifice raselor umane. Figura 3.3 prezintă rezultatele procesării imaginilor ce conțin subiecții din cadrul diferitelor rase umane, în scopul detectării chipului.

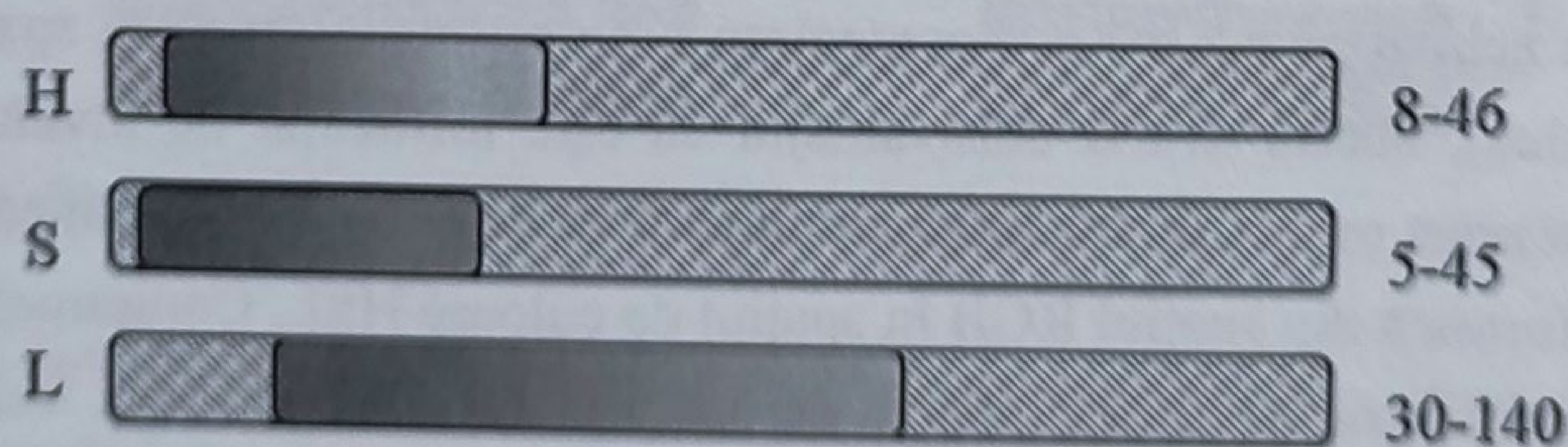


Figura 3.2 Intervalele de culoare din spațiul HSL ce descriu pielea umană





**Figura 3.3** Rezultatele algoritmului de detecție a pielii, aplicat asupra unor imagini cu subiecți de diverse rase umane

### 3.2.2. Tabel de căutare pentru segmentarea regiunilor de piele

Imaginea a cărei pixeli sunt definiți prin componentele spațiului HSL este prelucrată prin intermediul unui tabel de căutare, pentru a evidenția regiunile ce descriu pielea umană. Tabelul de căutare este folosit pentru evaluarea culorilor pixelilor din imagine. Conform parametrilor ce definesc tabelul de căutare, pixelii descriși de componente de culoare ale căror valori se regăsesc în intervalele specificate sunt evidențiați, iar pixelii ale căror componente au valori în afara intervalelor specificate sunt eliminați. Pielea umană este definită de orice pixel ale cărui componente de culoare sunt regăsite în intervalele specifice de variație. Figura 3.4 prezintă imaginea achiziționată după conversia în spațiul de culoare HSL și imaginea rezultată în urma aplicării algoritmului ce utilizează tabelul de căutare pentru evidențierea pielii umane asupra imaginii achiziționate.



**Figura 3.4** Imaginea inițială și imaginea ce descrie chipul uman



Conform cu figura 3.4 se observă că în imaginea rezultată, prin aplicarea tabelului de căutare, pixelii ce nu descriu pielea umană au fost eliminați, fiind evidențiați doar pixelii ale căror componente de culoare au valori în intervalele de interes. Imaginea rezultată va conține pixelii definitorii pentru regiunile ce descriu pielea umană. Valorile intervalelor specifice fiecărei componente de culoare a spațiului HSL sunt actualizate după fiecare imagine prelucrată.

Procesul de actualizare constă în verificarea corectitudinii noilor intervale provenite prin analiza imaginii prelucrate, considerând ca referință valorile actuale. Obiectivul procesului de actualizare este de a optimiza detecția chipului uman prin actualizarea automată a coeficienților tabelului de căutare, pe parcursul prelucrării secvenței video. Îmbunătățirea performanțelor constă în reducerea timpului de calcul aferent operațiilor de procesare, ulterioare etapei de segmentare a pielii prin specificarea cu precizie, a intervalelor de culoare definitorii pielii umane.

În acest mod, algoritmul de detecție a chipului uman ține cont de feedbackul referitor la culoarea pielii rezultat din analiza imaginii precedente. Imaginea reprezentată în spațiul HSL obținută în urma aplicării algoritmului bazat pe tabelul de căutare, conține informații referitoare la poziția chipului uman și a caracteristicilor faciale. Perceptibilitatea regiunilor de interes este mai bună, deoarece utilizând această reprezentare, se realizează o separare a componentelor de culoare influențate de variații ale condițiilor de iluminare. Detecția chipului uman este realizată de către algoritmul de procesare, având la intrare doar componenta nuanță de culoare a pixelilor din imaginea obținută prin aplicarea tabelului de căutare.

Algoritmul de segmentare a culorii pielii are ca rezultat o imagine în care se regăsesc grupați pixelii ce descriu pielea umană. Grupările de pixeli sunt denumite în continuare particule, iar acestea pot avea dimensiuni variate, în funcție de numărul de pixeli asociat unei particule.

### **3.2.3. Operații morfologice utilizate pentru procesarea imaginilor, în scopul detectării chipului uman și a trăsăturilor faciale**

Pentru a îmbunătăți perceptibilitatea regiunilor din imagine, ce descriu pielea umană, algoritmul de procesare a imaginilor utilizează o succesiune de operații morfologice precum eroziunea, dilatarea, închiderea. Particulele, definite ca grupări de pixeli conecși, pot fi delimitați de pixelii vecini din imagine, prin intermediul unui perimetru propriu. Particulele rezultate, în urma aplicării algoritmului de binarizare asupra componentei H a imaginii, sunt mai apoi filtrate prin folosirea de metode ce evaluează dimensiunea și geometria particulelor.

Operațiile morfologice necesare pentru procesarea imaginilor de intrare sunt încorporate în structura algoritmului, având ca scop atingerea următoarelor obiective:

- ✓ conectarea pixelilor învecinați pentru crearea de regiuni uniforme,
- ✓ eliminarea pixelilor zgomotoși ce afectează conturul real al regiunii,
- ✓ îmbunătățirea caracteristicilor de formă și perceptibilitate a regiunilor.

Utilizând operatorii morfologici de dilatare, închidere și eroziune regiunile ce descriu pielea umană sunt evidențiate în imaginea analizată. Cu alte cuvinte, pixelii ce nu sunt conecși cu regiunile ce descriu pielea umană, sunt eliminați din imagine prin intermediul unui filtru de



particule, ce impune constrângeri referitoare la geometria și dimensiunile particulelor. Operațiile morfologice sunt de asemenea utilizate pentru a conecta pixelii alăturați, în scopul formării regiunilor compacte ce definesc pielea umană. Prin intermediul procedurii menționat sunt eliminați pixelii considerați zgomot. Astfel, se realizează evidențierea particulelor de interes relativ la fundalul imaginii. Descrierea operatorilor morfologici impune prezentarea noțiunilor fundamentale utilizate în descrierea și aplicarea procedurilor de procesare asupra imaginii binare.

O imaginea binară  $F(j,k)$  este descrisă de totalitatea pixelilor cu valoarea logică 1, identificați ca poziționare prin coordonatele  $p(j,k)$ . Apartenența pixelului  $p(j,k)$ , la imaginea binară  $F(j,k)$  este descrisă prin intermediul operatorului de apartenență, conform relației (3.2).

$$p(j,k) \in F(j,k), \forall p(j,k) = 1 \quad (3.2)$$

Inversa unei imagini binare, notată  $\bar{F}(j,k)$ , este reprezentată de imaginea, a căror valori corespunzătoare pixelilor  $\bar{p}(j,k)$  sunt determinate prin negarea valorilor logice proprii imaginii inițiale  $F(j,k)$ . Imaginea reflectată, notată  $\tilde{F}(j,k)$ , este constituită prin oglindirea imaginii inițiale după axele de simetrie verticală și orizontală. Imaginea trasată  $T(j,k)$ , constă în deplasarea spațială a imaginii originale  $F(j,k)$ , cu  $r$  linii și  $c$  coloane, conform relației (3.3).

$$T(j,k) = T_{r,c}\{F(j,k)\} \quad (3.3)$$

Aplicarea operațiilor morfologice, asupra imaginilor binare, implică utilizarea unei element structural notat  $H(j,k)$ . Elementul structural este reprezentat de o matrice pătratică de ordin impar, ale cărei elemente componente sunt descrise de valori logice. Valorile logice ale componentelor, cât și poziționarea spațială a acestora în cadrul elementului structural, influențează decisiv rezultatul aplicării operației morfologice asupra imaginii. Elementul structural folosit, de către algoritmul implementat în scopul prelucrării imaginilor binare, este descris de matricea pătratică de ordin cinci prezentată în Figura 3.5.

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

**Figura 3.5** Elementul structural B utilizat pentru aplicarea operațiilor morfologice

Operația morfologică de dilatare a imaginii inițiale  $F(j,k)$ , prin intermediul elementului structural  $H(j,k)$ , are ca rezultat imaginea binară  $D(j,k)$ . Determinarea imaginii  $D(j,k)$  este definită inițial de [H. Minkowski, 1903], folosind relațiile de definiție (3.4).

$$\begin{aligned} D(j,k) &= F(j,k) \oplus H(j,k) \\ D(j,k) &= \bigcup_{(r,c) \in H} T_{r,c}\{F(j,k)\} \end{aligned} \quad (3.4)$$

Conform relației de definiție, rezultatul operației de dilatare morfologică  $D(j,k)$  este compus prin reuniunea matricelor translate ale lui  $F(j,k)$ . Distanța de translație este indicată de indexul liniilor și coloanelor elementului structural  $H(j,k)$ , a cărui pixeli au valoarea logică 1. Operația morfologică de eroziune, aplicată asupra imaginii  $F(j,k)$  utilizând elementul structural  $H(j,k)$ , are



ca rezultat imaginea binară  $E(j,k)$ . Calculul imaginii binare  $E(j,k)$  se realizează conform relațiilor (3.5), inițial definite de [H. Hadwiger, 1957].

$$\begin{aligned} E(j,k) &= F(j,k) \ominus H(j,k) \\ E(j,k) &= \bigcap_{(r,c) \in H} T_{r,c} \{F(j,k)\} \end{aligned} \quad (3.5)$$

Conform relației de definiție, eroziunea imaginii  $F(j,k)$ , prin elementul structural  $H(j,k)$ , are ca rezultat imaginea binară  $D(j,k)$  ce este compusă prin intersecția matricelor translate ale lui  $F(j,k)$ .

Distanța de translație este indicată de indexul liniilor și coloanelor elementului structural  $H(j,k)$ , a cărui pixeli au valoarea logică 1. Închiderea morfologică se realizează prin aplicarea consecutivă asupra imaginii  $F(j,k)$ , a unei dilatări urmată de o eroziune prin intermediul aceluiași element structural  $H(j,k)$ , având ca rezultat  $I(j,k)$ . Definirea operatorului morfologic de închidere este realizată prin relațiile specifice (3.6), [K.Pratt, 2007].

$$\begin{aligned} I(j,k) &= F(j,k) \cdot H(j,k) \\ I(j,k) &= [F(j,k) \oplus H(j,k)] \ominus \tilde{H}(j,k) \end{aligned} \quad (3.6)$$

Aplicarea operatorului închidere asupra imaginii binare, utilizând un element structural compact, are ca efecte îmbunătățirea conturului particulelor și eliminarea din interiorul acestora a regiunilor de mici dimensiuni descrise de valoarea logică 0. Prin intermediul operatorului de închidere se realizează și unirea particulelor separate de distanțe relativ mici.

Distanța de separație, ce desparte două particule și care poate fi neutralizată în scopul unirii particulelor, depinde de dimensiunea elementului structural și de numărul de aplicări a operatorului asupra imaginii. Operatorul deschidere morfologică este descris de aplicarea consecutivă asupra imaginii  $F(j,k)$  a operațiilor de eroziune și dilatare folosind elementul structural  $H(j,k)$ , și are ca rezultat imaginea binară  $O(j,k)$ . Deschiderea morfologică este descrisă prin relațiile specifice (3.7).

$$\begin{aligned} O(j,k) &= F(j,k) \circ H(j,k) \\ O(j,k) &= [F(j,k) \ominus \tilde{H}(j,k)] \oplus H(j,k) \end{aligned} \quad (3.7)$$

Prelucrarea imaginii inițiale, prin intermediul operatorului deschidere morfologică, are ca efecte îmbunătățirea conturului particulelor, eliminarea particulelor cu arie redusă și a regiunilor de mici dimensiuni ce unesc particulele din imagine. În continuare, sunt prezentate rezultatele aplicării asupra imaginii inițiale a diversilor operatori morfologici.

#### 3.2.4. Caracterizarea particulelor din imagine utilizând descriptorii de regiuni

Particulele regăsite în imagine pot fi caracterizate prin considerarea de măsurători scalare, având la bază proprietățile geometrice ale regiunii. Descriptorii utilizați la caracterizarea unei regiuni specifice din imaginea analizată sunt grupați în două categorii: descriptorii de bază ai particulelor și descriptorii de momente specifice particulelor. Descriptorii de bază caracterizează proprietățile geometrice ale regiunilor din imagine, pe când descriptorii de momente sunt definiții densității de pixeli ai particulei. Pentru fiecare particulă din imagine sunt calculate următoarele momente geometrice și spațiale: centrul de masă, aria, perimetrul și orientarea. Determinarea acestor proprietăți, pentru fiecare particulă în parte, presupune calculul inițial a momentelor de bază (raw



moments). Particulele sunt caracterizate de aria proprie, iar determinarea acesteia se realizează prin însumarea pixelilor specifici ce aparțin particulei. Aria particulei  $p$  regăsite în imaginea definită de pixeli  $I(x,y)=1$ , aparținând particulei  $(x,y) \in p$ , se calculează cu relația (3.8). În această relație,  $\Delta A$  reprezintă aria unui pixel a cărei valoare este considerată în general ca fiind unitară  $\Delta A = 1$ , în consecință aria totală a particulei este măsurată în pixeli. Aria este dependentă de variațiile de scală ale particulei, însă, aceasta este invariabilă în raport cu orientarea particulei. Precizia de determinare a ariei particulei poate fi influențată de erorile de discretizare cauzate, de aplicarea unor transformări ce influențează orientarea particulei în contextul imaginii.

$$A(p) = \sum_x \sum_y I(x,y) \Delta A \quad (3.8)$$

Perimetrul specific regiunii reprezintă încă o proprietate caracteristică prin intermediul căreia particula este caracterizată. În cazul imaginii digitale, conturul este descris de curba ce delimitează particula parametrizată prin coordonatele pixelilor din imagine. Perimetrul particulei este determinat cu relația (3.9). Pixelii ce delimitează conturul particulei sunt descriși în cadrul formulei de coordonatele  $x_i, y_i$ , iar acestea desemnează pixelul de rang  $i$  ce formează conturul tipic.

$$P(p) = \sum_i \sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2} \quad (3.9)$$

Geometria particulei poate fi descrisă și din punct de vedere al compactității. Descriptorul *factor de compactitate*  $C(p)$  caracterizează eficiența cu care conturul delimitează particula. În relația de definiție (3.10),  $A(p)$  reprezintă aria cercului cu același perimetru  $P(p)$ , ca și particula analizată  $p$ . Factorul de compactitate indică raportul dintre aria particulei și cercului ce poate fi trasat, având același perimetru cu particula. Factorul de compactitate maxim este specific particulei de formă circulară  $C(cerc)=1$ . Astfel, o particulă devine mai compactă cu cât densitatea pixelilor este mai mare aproape de centrul de greutate al particulei.

$$C(p) = \frac{4\pi A(p)}{P^2(p)} \quad (3.10)$$

Factorul de compactitate este o măsură a formei particulei, iar acesta nu poate descrie în mod categoric forma particulei și în consecință, nu poate fi utilizat în a discrimina două particule care au factorul de compactitate identic. Un factor de compactitate scăzut descrie particule cu forme neregulate, dar și particule cu o formă alungită, și pentru a distinge particulele aflate în acest context este întrebuintat factorul de iregularitate. Iregularitatea  $I(p)$  descrie dispersia pixelilor în cadrul particulei. Determinarea acesteia constă în calculul raportului dintre lungimea maximă a corzii ce unește centrul de greutate, cu pixelul cel mai îndepărtat și aria particulei [Chen, 1995]. Iregularitatea este calculată prin intermediul relației de definiție (3.11). Coordonatele centrului de masă  $(\bar{x}, \bar{y})$  sunt considerate ca referință pentru măsurarea corzii de lungime maximă. De asemenea, aria cercului cu diametrul cel mai mare, care conține geometria particulei este luat în calcul în determinarea iregularității. În consecință, factorul de iregularitate descrie densitatea pixelilor ce formează particula.



$$I(p) = \frac{\max((x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2)\pi}{A(p)} \quad (3.11)$$

Dispersia pixelilor în cadrul particulei poate fi descrisă prin raportul dintre raza maximă și raza minimă corespunzătoare cercurilor ce încadrează particula, respectiv cercul înscris în particulă. Raportul este definit prin intermediul formulei (3.12).

$$Ir(p) = \frac{\max(\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2})}{\min(\sqrt{(x_i - \bar{x})^2 + (y_i - \bar{y})^2})} \quad (3.12)$$

Raportul  $Ir(p)$  măsoară prin definiție iregularitatea regiunii, prin specificarea proporției dintre razele cercurilor înscrise și circumscrise particulei. Această măsură are valori ridicate aferente particulelor cu o dispersie mare, iar raportul scade pe măsură ce compactitatea particulei crește.

### 3.2.5. Caracterizarea particulelor prin intermediul momentelor

Momentele descriu aranjarea pixelilor în structura particulei, în mod similar utilizării descriptorilor cu privire la arie, perimetru, factorul de compactitate și dispersie în mod concomitent pentru caracterizarea particulei. Momentele sunt descriptori globali specifici particulei, ce sunt folosiți pentru a filtra particule, datorită abilității intrinseci de distingere între regiuni asemănătoare din imagine.

Particulele de interes, în acest caz regiunea ce definește chipul uman, caracterizate prin intermediul descriptorilor de momente sunt evidențiate din totalitatea particulelor regăsite în imagine, prin filtrarea descriptorilor de momente specifici. Descriptorii de momente furnizează o descriere globală a particulei. Momentele prezintă proprietăți de invarianță, ce conferă o imunitate la efectele cauzate de zgomot, furnizând o descriere robustă a pixelilor din componența particulei din punct de vedere statistic. Descriptorii de momente sunt încorporați cu preponderență în aplicații de recunoaștere a formelor utilizând metode statistice.

Aplicabilitatea descriptorilor de momente în structura sistemelor de viziune artificială bazată pe modele este restricționată de ipoteza că vizibilitatea formei de interes nu suferă obturări. Condiția de vizibilitate integrală este respectată de către sistemul prezentat în această lucrare prin procesarea de secvențe video ce surprind în totalitate subiectul uman pe parcursul experimentelor. Particulele rezultate în urma procesului de segmentare a imaginii ce pot reprezenta chipul uman sunt filtrate utilizând ca parametri descriptorii de momente și arie. Particulele ce nu respectă constrângerile impuse prin intermediul parametrilor de filtrare sunt eliminate prin această metodă, astfel regiunea ce descrie chipul uman este evidențiată din grupul de particule. Momentele sunt utilizate pentru a descrie particulele rezultate în urma procesului de segmentare a imaginii pentru evidențierea chipului uman.

$$m_{ij} = \sum_x \sum_y x^i y^j I(x, y) \quad (3.13)$$

Descriptorii de momente caracterizează regiunile din imagine din punct de vedere al ariei, orientării și centrului de greutate. Momentele carteziane primare  $m_{ij}$ , calculate în spațiul bidimensional al imaginii asociate unei particule, sunt determinate prin evaluarea intensității



$I(x,y)$  a fiecărui pixel din imagine, conform relației (3.13). Momentele sunt calculate, plecând de la ipoteza că în imaginea digitală, aria unui pixel are o valoare unitară. Digitizarea imaginii reale se realizează prin intermediul senzorului de imagine încorporat în camera video utilizată la achiziția imaginilor. Rezoluția matricei fotosensibile specifice senzorului este precizată de către producător în pixeli. Aceasta reflectă numărul de pixeli achiziționați de către cameră, corespunzători imaginii reale, digitizați prin intermediul modelului camerei video.

Momentul primar  $m_{00}$  indică aria particulei de interes, prin urmare  $A = m_{00}$ . Deoarece, în acest caz, algoritmul tratează imagini bidimensionale binare, ceea ce presupune că aria și masa unui pixel au valori unitare, momentul primar  $m_{00}$  descrie aria particulei cât și masa acesteia. Momentul primar este determinat prin intermediul relației (3.14).

$$m_{00} = \sum_x \sum_y I(x, y) \quad (3.14)$$

Momentele secundare  $m_{10}$ ,  $m_{01}$  caracterizează particula din punctul de vedere al densității pixelilor componenți considerând ca referință cele două axe de coordonate ortogonale. Prin urmare momentele secundare ce descriu densitățile raportate la sistemul de coordonate sunt calculate prin intermediul relațiilor (3.15).

$$m_{10} = \sum_x \sum_y xI(x, y), m_{01} = \sum_x \sum_y yI(x, y), m_{11} = \sum_x \sum_y xyI(x, y) \quad (3.15)$$

Momentele secundare calculate pentru o particulă din componența imaginii binare servesc la determinarea centrului de masă propriu particulei. Momentele superioare de ordin trei sunt calculate prin intermediul relațiilor de definiție (3.16).

$$\begin{aligned} m_{20} &= \sum_x \sum_y x^2 I(x, y), m_{02} = \sum_x \sum_y y^2 I(x, y) \\ m_{21} &= \sum_x \sum_y x^2 y I(x, y), m_{12} = \sum_x \sum_y xy^2 I(x, y) \\ m_{22} &= \sum_x \sum_y x^2 y^2 I(x, y) \end{aligned} \quad (3.16)$$

Momentele superioare de ordin patru sunt calculate prin intermediul relațiilor de definiție (3.17).

$$\begin{aligned} m_{30} &= \sum_x \sum_y x^3 I(x, y), m_{03} = \sum_x \sum_y y^3 I(x, y) \\ m_{31} &= \sum_x \sum_y x^3 y I(x, y), m_{13} = \sum_x \sum_y xy^3 I(x, y) \\ m_{32} &= \sum_x \sum_y x^3 y^2 I(x, y), m_{23} = \sum_x \sum_y x^2 y^3 I(x, y) \\ m_{33} &= \sum_x \sum_y x^3 y^3 I(x, y) \end{aligned} \quad (3.17)$$

Coordonatele centrului de masă  $(x_c, y_c)$  specifice particulei sunt determinate prin intermediul formulei (3.18). Centrul de masă caracterizează concentrarea pixelilor din componența particulei analizate. Determinarea coordonatelor centrului de masă impune calculul în prealabil a



momentului primar definitoriu pentru aria particulei, precum și a momentelor secundare ce specifică densitatea particulei raportată la direcțiile ortogonale  $x, y$ .

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}}, y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3.18)$$

Operațiile de procesare a imaginilor binare, ce acționează asupra particulelor din imagine, necesită informații referitoare la geometria particulei și anume poziționare, orientare și dimensiuni. Pentru a determina orientarea particulei este necesar calculul momentelor centrale ale particulei  $\mu_{ij}$ , ce caracterizează imunitatea la translație a particulei. Momentele centrale sunt determinate considerând ca referință centrul de masă al particulei. Particula este descrisă prin intermediul momentelor centrale în mod consecvent, indiferent de schimbările de poziție ale acesteia în cadrul imaginii. Determinarea momentelor centrale invariabile la translație specifice particulei este realizată prin intermediul formulei (3.19).

$$\mu_{ij} = \sum_x \sum_y (x - x_c)^i (y - y_c)^j I(x, y) \quad (3.19)$$

Conform relației de definiție (3.19) sunt calculate momentele centrale ce au capabilități de descriere a particulei prin intermediul relațiilor (3.20).

$$\begin{aligned} \mu_{00} &= m_{00} = A \\ \mu_{01} &= \mu_{01} = 0 \\ \mu_{11} &= I_{xy} = m_{11} - x_c m_{01} \\ \mu_{20} &= I_{xx} = m_{20} - x_c m_{10} \\ \mu_{02} &= I_{yy} = m_{02} - y_c m_{01} \\ \mu_{21} &= I_{xxy} = m_{21} - 2x_c m_{11} - y_c m_{20} + 2x_c^2 m_{01} \\ \mu_{12} &= I_{xyy} = m_{12} - 2y_c m_{11} - x_c m_{02} + 2y_c^2 m_{10} \\ \mu_{30} &= I_{xxx} = m_{30} - 3x_c m_{20} + 2x_c^2 m_{10} \\ \mu_{03} &= I_{yyy} = m_{03} - 3y_c m_{02} + 2y_c^2 m_{01} \end{aligned} \quad (3.20)$$

Momentele centrale sunt eficiente pentru a descrie geometria particulei considerând ca referință centrul de masă propriu particulei. Deoarece momentele centrale descriu geometria particulei din punctul de vedere al distribuției pixelilor componenți, considerând ca referință direcțiile verticală și orizontală acestea sunt cunoscute și sub denumirea de momente inerțiale. Simbolizarea momentelor inerțiale este consecventă cu descrierea oferită de acestea, conform relațiilor (3.20).

Descrierea particulei prin intermediul momentelor centrale este invariabilă la translația particulei în cadrul imaginii analizate, însă este influențată de rotirea sau scalarea particulei în planul imaginii. Caracterizarea riguroasă a geometriei particulei, indiferent de translarea, scalarea sau rotirea acesteia în planul imaginii este realizată prin intermediul momentelor invariabile [Hu, 1962]. Calculul momentelor invariabile la rotirea sau translarea particulei necesită în prealabil identificarea momentelor de inerție normalizate. Momentele de inerție normalizate sunt definite prin intermediul relației (3.21).

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \gamma = \frac{p+q}{2} + 1, \forall p+q \geq 2 \quad (3.21)$$



Conform relației de definiție (3.21) momentele normalizate sunt calculate individual corespunzător relațiilor (3.22).

$$\begin{aligned} \eta_{20} = N_{xx} &= \frac{I_{xx}}{m_{00}^2}, & \eta_{21} = N_{xxy} &= \frac{I_{xxy}}{\sqrt{m_{00}^5}} \\ \eta_{11} = N_{xy} &= \frac{I_{xy}}{m_{00}^2}, & \eta_{12} = N_{xyy} &= \frac{I_{xyy}}{\sqrt{m_{00}^5}} \\ \eta_{02} = N_{yy} &= \frac{I_{yy}}{m_{00}^2}, & & \\ \eta_{30} = N_{xxx} &= \frac{I_{xxx}}{\sqrt{m_{00}^5}}, & \eta_{03} = N_{yyy} &= \frac{I_{yyy}}{\sqrt{m_{00}^5}} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Momentele invariabile la rotirea, translarea și scalarea particulei sunt determinate conform relațiilor (3.23). Relațiile de definiție caracteristice fiecărui moment invariant încorporează momentele de inerție normalizate pentru calculul valorilor specifice.

$$\begin{aligned} H_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ H_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ H_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ H_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ H_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12}) + ((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} - \eta_{03})^2) \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ H_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ H_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})((\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2) \\ &\quad + (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})(3(\eta_{12} + \eta_{30})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2) \end{aligned} \quad (3.23)$$

Momentul de inerție invariant  $H_7$  este utilizat cu precădere pentru a distinge imaginile în oglindă. Deoarece caracterizarea particulei, prin intermediul acestui descriptor este invariantă la deformările legate de orientarea și geometria particulei, algoritmul dezvoltat este capabil să detecteze prezența în imagine a unei particule ce prezintă simetrie axială. Geometria particulei este analizată prin intermediul momentelor centrale de ordin superior. Momentul central de ordin zero conferă informații referitoare doar la aria particulei analizate. Momentele centrale de ordin doi, conțin informații prin care este caracterizată distribuția particulelor față de centrul de masă. Distribuția particulelor relativ la centrul de masă influențează în mod direct orientarea particulei.

### 3.2.6. Descriptorii ce caracterizează orientarea și geometria particulelor

Orientarea particulei este descrisă utilizând vectorii valorilor proprii, corespunzători matricei de covariație, compusă din momentele primare de ordin superior conform relației (3.24).

$$\text{cov}[I(x, y)] = \begin{bmatrix} \mu'_{20} & \mu'_{11} \\ \mu'_{11} & \mu'_{02} \end{bmatrix} \quad (3.24)$$

Vectorii valorilor proprii corespund axelor majore și minore ale distribuției de intensitate din imagine, calculate utilizând relațiile (3.25).



$$\begin{aligned}\mu'_{20} &= \frac{m_{20}}{m_{00}} - x_c^2 \\ \mu'_{02} &= \frac{m_{02}}{m_{00}} - y_c^2, \mu'_{11} = \frac{m_{11}}{m_{00}} - x_c y_c\end{aligned}\quad (3.25)$$

Orientarea particulei este definită ca unghiul dintre direcția orizontală și direcția față de care particula poate fi rotită cu cea mai mică inerție. Orientarea este determinată din vectorul valorilor proprii, asociat cu cea mai mare distribuție a pixelilor relativ la centrul de masă. Orientarea particulei este calculată utilizând relația (3.26).

$$\theta = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left( \frac{2\mu'_{11}}{\mu'_{20} - \mu'_{02}} \right) \quad (3.26)$$

Orientarea specifică descrie direcția în care particula prezintă elongația cea mai semnificativă. Pixelii din componența particulei sunt caracterizați din punct de vedere al poziționării acestora, considerând ca referință axele distribuției de intensitate. Valorile proprii  $\lambda_1, \lambda_2$  extrase din matricea de covariație reprezintă distribuțiile caracteristice axei majore și respective axei minore, conform relațiilor (3.27).

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= \sqrt{\frac{\mu'_{20} + \mu'_{02} + \sqrt{\mu_{11}'^2 + (\mu'_{20} - \mu'_{02})^2}}{2}} \\ \lambda_2 &= \sqrt{\frac{\mu'_{20} + \mu'_{02} - \sqrt{\mu_{11}'^2 + (\mu'_{20} - \mu'_{02})^2}}{2}}\end{aligned}\quad (3.27)$$

Valorile proprii ale matricei de covariație sunt utilizate și pentru calculul excentricității notată  $E$ . Excentricitatea particulei reprezintă o măsură a elongației particulei, determinată de geometria definitorie a particulei. Calculul excentricității se realizează conform relației (3.28).

$$E = \sqrt{1 - \frac{\lambda_2}{\lambda_1}} \quad (3.28)$$

Excentricitatea specifică particulei poate avea valori în intervalul  $[0,1]$ . Excentricitatea apropiată de valoarea zero caracterizează particula cu forma circulară, în timp ce o excentricitate apropiată de valoarea 1 descrie o particulă cu o formă alungită liniară. Momentele realizează astfel o descriere completă a geometriei particulei invariabilă la scalarea, translarea sau rotirea acesteia.

Descrierea este cu atât mai precisă, cu cât momentele utilizate sunt de un ordin superior. Particulele rezultate în urma aplicării operațiilor morfologice sunt filtrate prin intermediul următoarelor constrângeri: centru de masă, distanța față de marginea imaginii, aria particulelor și elongația acestora. Componenta de filtrare din structura algoritmului de procesare a imaginii elimină particulele ce nu îndeplinesc condițiile impuse de multiplele stagii de filtrare.

Algoritmul clasifică mai apoi, o particulă ca identificând chipul uman doar dacă îndeplinește toate restricțiile impuse. Identificarea cu succes a particulei ce descrie chipul uman declanșează următoarea etapă din structura algoritmului, răspunzătoare de determinarea regiunii de interes a chipului, notată  $ROI$ . Fie  $F(x,y)$ , imaginea ce conține particula specifică chipul uman, prin



analiza localizării și geometriei particulei, sunt calculate coordonatele corespunzătoare regiunii ce încadrează chipul uman, conform relațiilor (3.29).

$$\begin{aligned} m_x &= \min[x, y], m_y = \min[x, y] \\ M_x &= \max[x, y], M_y = \max[x, y] \end{aligned} \quad (3.29)$$

Regiunea de interes ce descrie chipul uman este un dreptunghi definit de coordonate (3.30).

$$ROI = \{(m_x, m_y), (M_x, m_y), (M_x, M_y), (m_x, M_y)\} \quad (3.30)$$

Utilizând orientarea  $\theta$  extrasă din vectorul valorilor proprii, asociat cu particula ce definește regiunea facială, calculăm orientarea chipului uman măsurată în grade (3.31).

$$r = \frac{180 * \theta}{\pi} \quad (3.31)$$

Pentru a calcula distanța de referință dintre ochi este necesară determinarea axei majore  $E_a$  și axei minore  $E_b$  corespundente elipsei echivalente. Elipsa echivalentă este o elipsă care are același perimetru și arie precum zona ce definește chipul uman. Fie  $p$  perimetrul și  $A$  aria regiunii ce definește chipul uman, calculul valorilor corespundente pentru axa minoră și axa majoră se realizează conform formulelor (3.32).

$$E_a = \sqrt{\frac{p^2}{2\pi^2} + \frac{2A}{\pi}} + \sqrt{\frac{p^2}{2\pi^2} - \frac{2A}{\pi}}, E_b = \sqrt{\frac{p^2}{2\pi^2} + \frac{2A}{\pi}} - \sqrt{\frac{p^2}{2\pi^2} - \frac{2A}{\pi}} \quad (3.32)$$

Distanța dintre ochi, utilizată ca referință de către stagiul de determinare cu precizie a trăsăturilor faciale, se calculează conform relației (3.33).

$$\delta = 0.575 * E_b \quad (3.33)$$

Algoritmul de detecție a chipului uman furnizează următoarele informații: coordonatele ce definesc centrul chipului uman, regiunea de interes a chipului uman și distanța dintre ochi. Valorile acestor parametri sunt utilizate pentru determinarea poziționării caracteristicilor faciale de interes, precum ochii și sprâncenele.

### 3.3. Funcționarea algoritmului de detecție a chipului uman și a caracteristicilor faciale

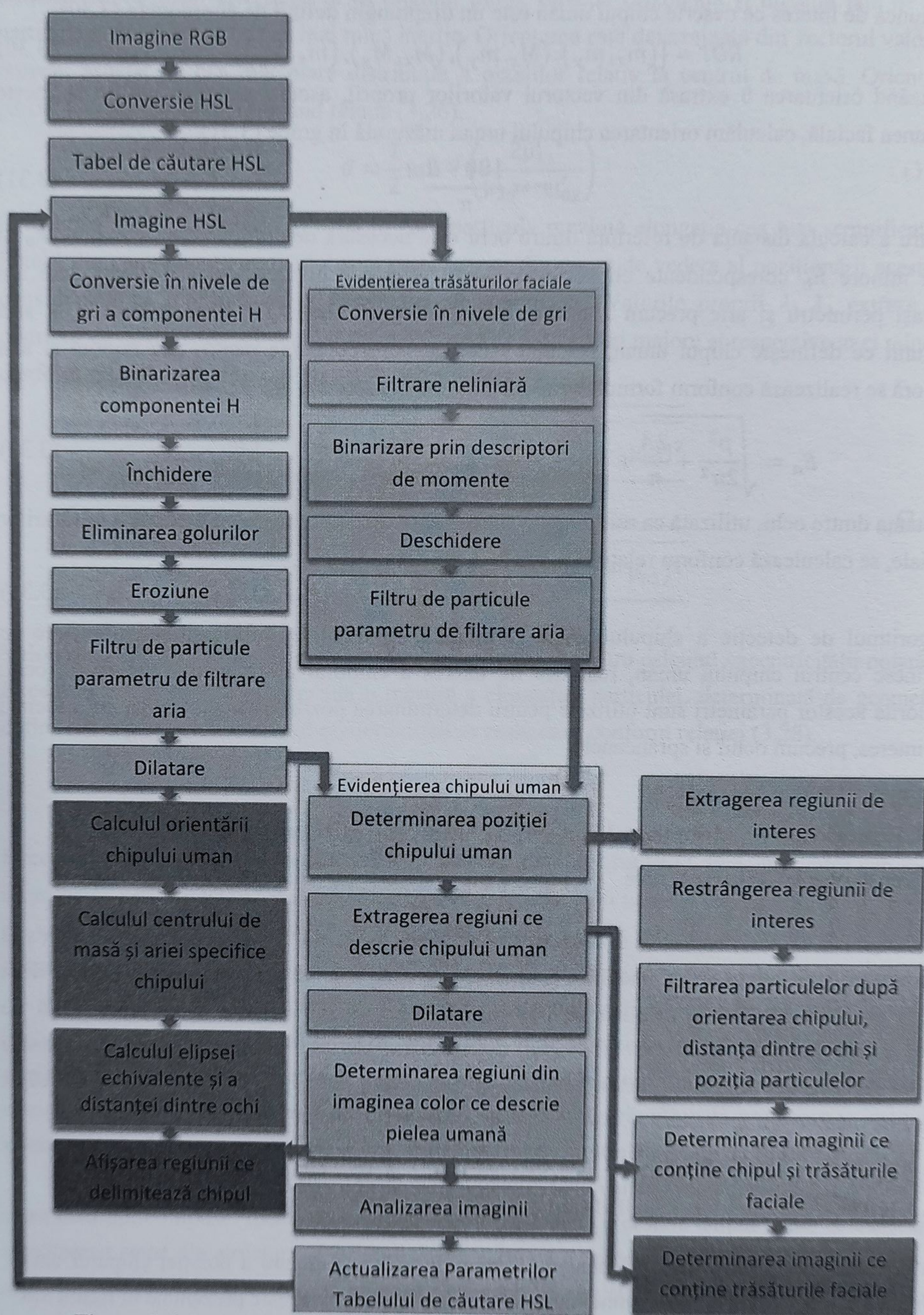
Organigrama de funcționare a sistemului implementat, în scopul localizării chipului uman și a trăsăturilor faciale regăsite în imaginea analizată, este compusă din două etape structurale. Prima etapă componentă este constituită de detecția chipului uman. Aceasta este responsabilă de prelucrarea imaginii analizate în scopul determinării poziției chipului uman. Localizarea trăsăturilor faciale constituie etapa secundă de prelucrare a imaginii având ca scop calculul poziției ochilor și a sprâncenelor.

#### 3.3.1. Determinarea localizării chipului uman

În continuare este descrisă funcționarea algoritmului de determinare a poziției chipului uman. Organigrama de funcționare a rutinei de localizare a chipului uman este prezentată în figura 3.6.



Funcționarea algoritmului demarează cu citirea imaginii analizate, din fișierul video, ce conține secvența de cadre imagine de interes. Funcția de citire a secvenței video returnează către etapa de procesare și analiză a cadrelor de imagine din componența fișierului.



**Figura 3.6** Organigrama de funcționare a algoritmului de detecție a chipului uman





**Figura 3.7** Imaginea originală cu o reprezentare RGB și imaginea procesată cu tabelul de căutate în HSL

Algoritmul de procesare va analiza succesiv imaginile furnizate de către funcția de citire. Astfel, imaginea reprezentată în spațiul de culori RGB, pusă la dispoziție de rutina de citire, este mai întâi transformată în spațiul de culori HSL prin intermediul relațiilor (3.1). Transformarea imaginii în spațiul de culori HSL are ca scop separarea culorilor ce descriu pixelii imaginii în trei componente fundamentale.

Descrierea culorilor prin intermediul spațiului HSL realizează o separare a componentelor de culoare, fiind posibilă astfel reducerea influențelor negative provocate de condițiile variabile de iluminare. Următorul proces constă în prelucrarea imaginii folosind un tabel de căutare.

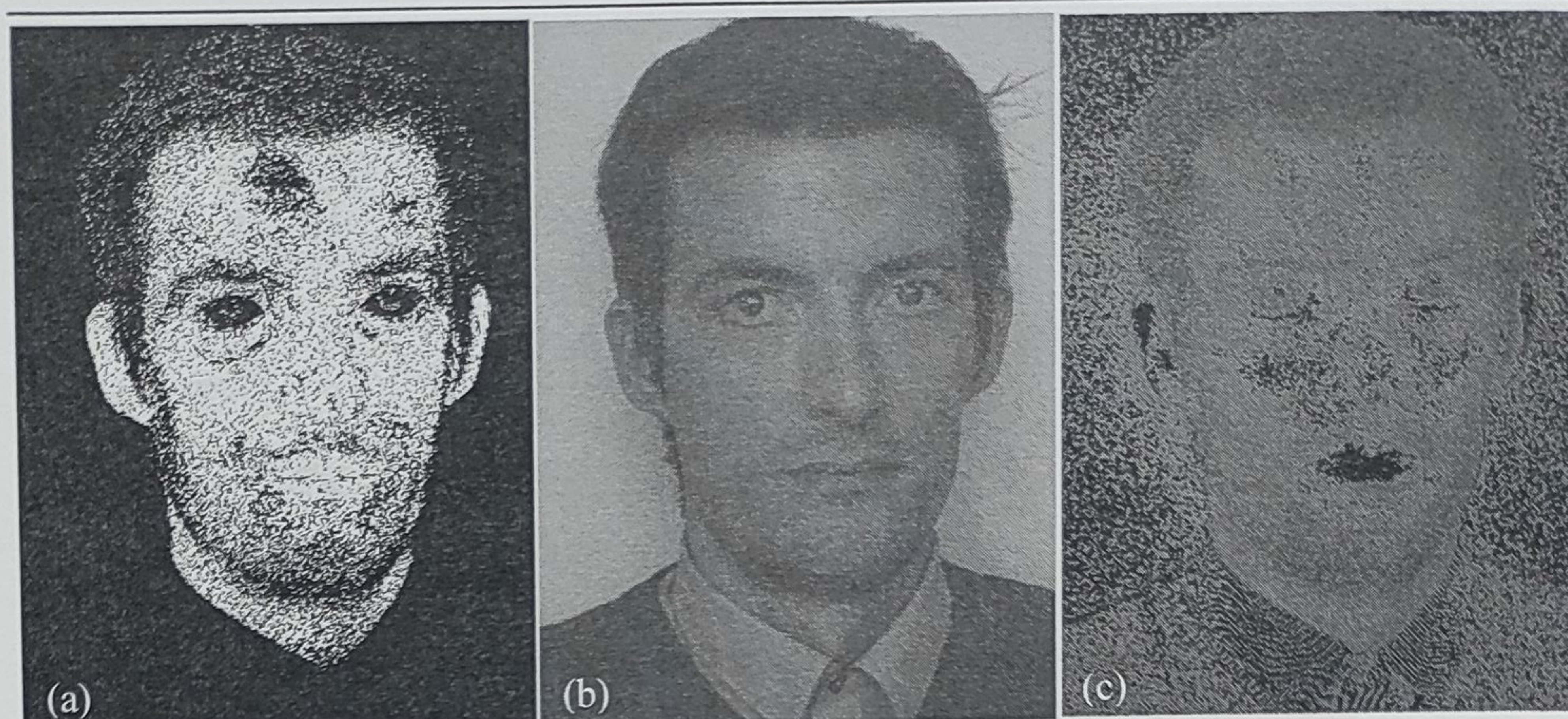
Tabelul de căutare descrie intervalele de variație pentru fiecare componentă de culoare a spațiului HSL, a căror combinație descriu culori specifice pielii umane. Deoarece pielea umană este caracterizată de culori diferite, influențate de rasa și naționalitatea subiectului uman, tabelul de căutare reflectă aceste particularități în intervalele specifice descrise de figura 3.2.

Prelucrarea imaginii prin intermediul tabelului de căutare are ca finalitate evidențierea pixelilor ce descriu pielea umană. Evidențierea acestor pixeli constituie fundamentul de plecare în localizarea chipului uman și a trăsăturilor faciale, admitând în prealabil că, culoarea pielii reprezintă unul din attributele cheie ce caracterizează chipul uman.

De asemenea, geometria și dimensiunile grupărilor de pixeli sunt analizate împreună cu informația de culoare, pentru a localiza chipul și trăsăturile faciale. Figura 3.7 prezintă imaginea originală reprezentată în spațiul RGB împreună cu imaginea rezultată prin aplicarea tabelului de căutare definit în spațiul HSL.

Imaginea rezultată prin aplicarea tabelului de căutare este apoi separată în trei părți, fiecare imagine fiind descrisă de una din componentele spațiului de culoare HSL. Sumarea celor trei părți ale imaginii descrise de componentele fundamentale va rezulta în reconstituirea imaginii inițiale în spațiul HSL. Imaginile specifice componentelor HSL sunt exemplificate în Figura 3.8.





**Figura 3.8** Imaginile specifice componentelor spațiului de culori HSL: (a) nuanță, (b) saturație, (c) luminozitate

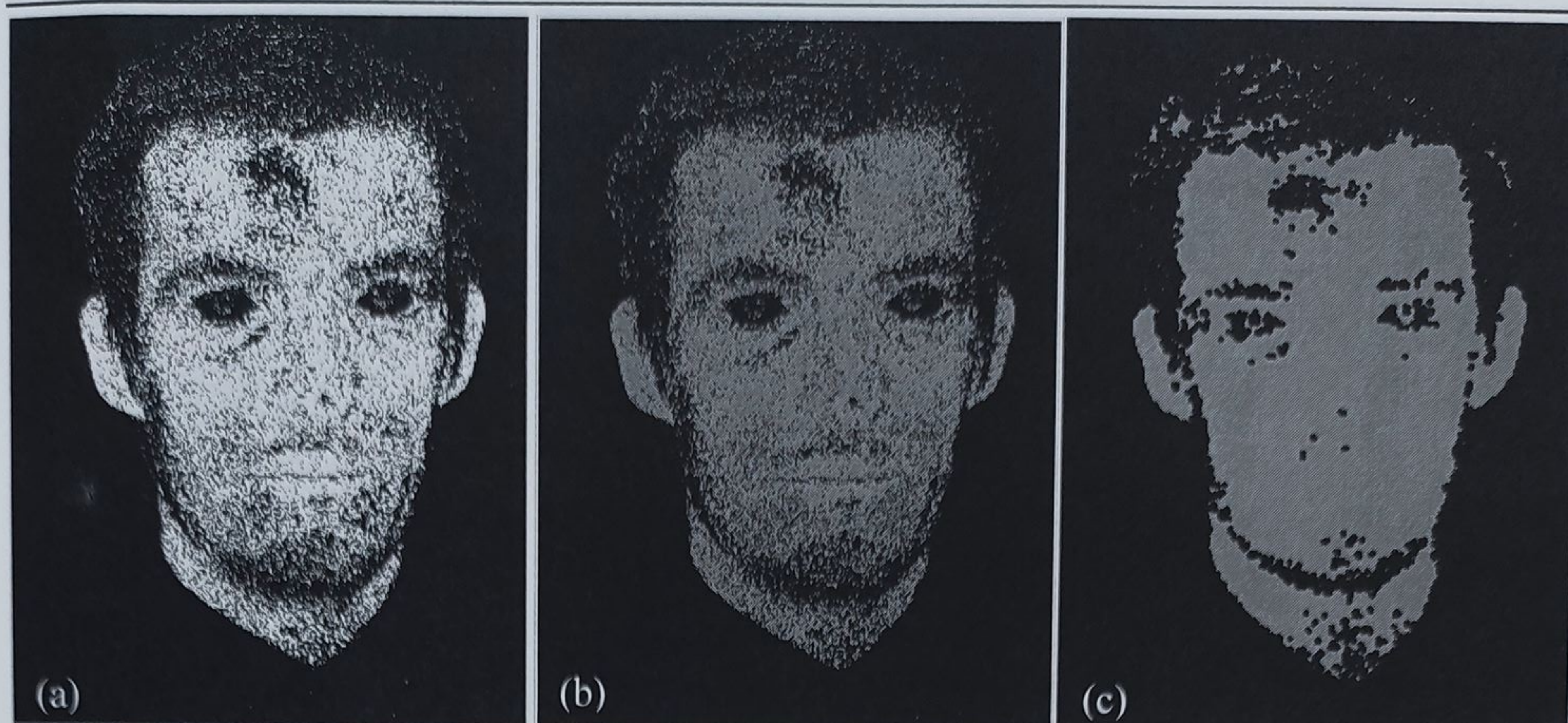
Analizând figura 3.8, se poate observa că imaginea ce descrie componenta nuanță de culoare realizează o descriere concretă a regiunilor de piele umană. Componentele ce pot reconstitui imaginea inițială sunt descrise de: nuanța de culoare, saturația culorii și luminozitatea culorii.

Studii recente realizate de cercetătorii din acest domeniu [Lai,2006], [Qiang,2005], [Sigal,2004], [Sigal,2000], [Sawangsi,2005], [Phung,2002], [Kim,2004], [Yang,2004], referitoare la utilizarea spațiului HSL, pentru segmentarea regiunilor ce definesc pielea umană, au prezentat rezultate concrete în ceea ce privește reducerea efectelor negative provocate de lumina ambientală variabilă. De asemenea, au fost realizate studii de segmentare a regiunii ce descrie pielea umană, utilizând imagini cu o reprezentare RGB [Yamada,2005], [Sobottka,1996], [Naseem,2005], [Cooray,2005], [Ramos,2006], [Pham,2006], [Seow,2003]. Analizând rezultatele prezentate de cele două categorii de experimente, autorul trage concluzia că spațiul HSL este cel mai potrivit pentru implementarea algoritmului de segmentare a pielii.

Reducerea influențelor negative cauzate de luminozitatea variabilă sunt analizate și de un studiu recent [Chaves-González,2010], a cărui concluzii susțin afirmațiile autorului. În continuare, analizarea regiunilor ce descriu pielea umană se realizează prin prelucrarea imaginii ce specifică componenta nuanță a culorii. Ipoteza admisă de autor este susținută de studii ce argumentează avantajele utilizării componentei nuanță de culoare a spațiului HSL, pentru a descrie culoarea pielii în comparație cu saturația și luminozitatea culorii [Yang,2002], [Ikeda,2003], [Chen,2005], [Chaves-González,2010].

Studiile realizează o comparație la nivel de pixel pentru determinarea componentei ce poate caracteriza robust pielea în procesul de detecție a chipului uman. Pentru a analiza imaginea din punct de vedere al regiunilor specifice pielii umane, utilizând metode de prelucrare a particulelor, se realizează binarizarea imaginii ce descrie componenta nuanță de culoare. Binarizarea imaginii are ca rezultat evidențierea pixelilor ce descriu pielea umană, în raport cu fundalul imaginii. Pixelii ce descriu pielea sunt reprezentați în imaginea binară prin valoarea logică 1, spre deosebire de pixelii cu valoare logică 0, ce reprezintă fundalul imaginii. Operatorul





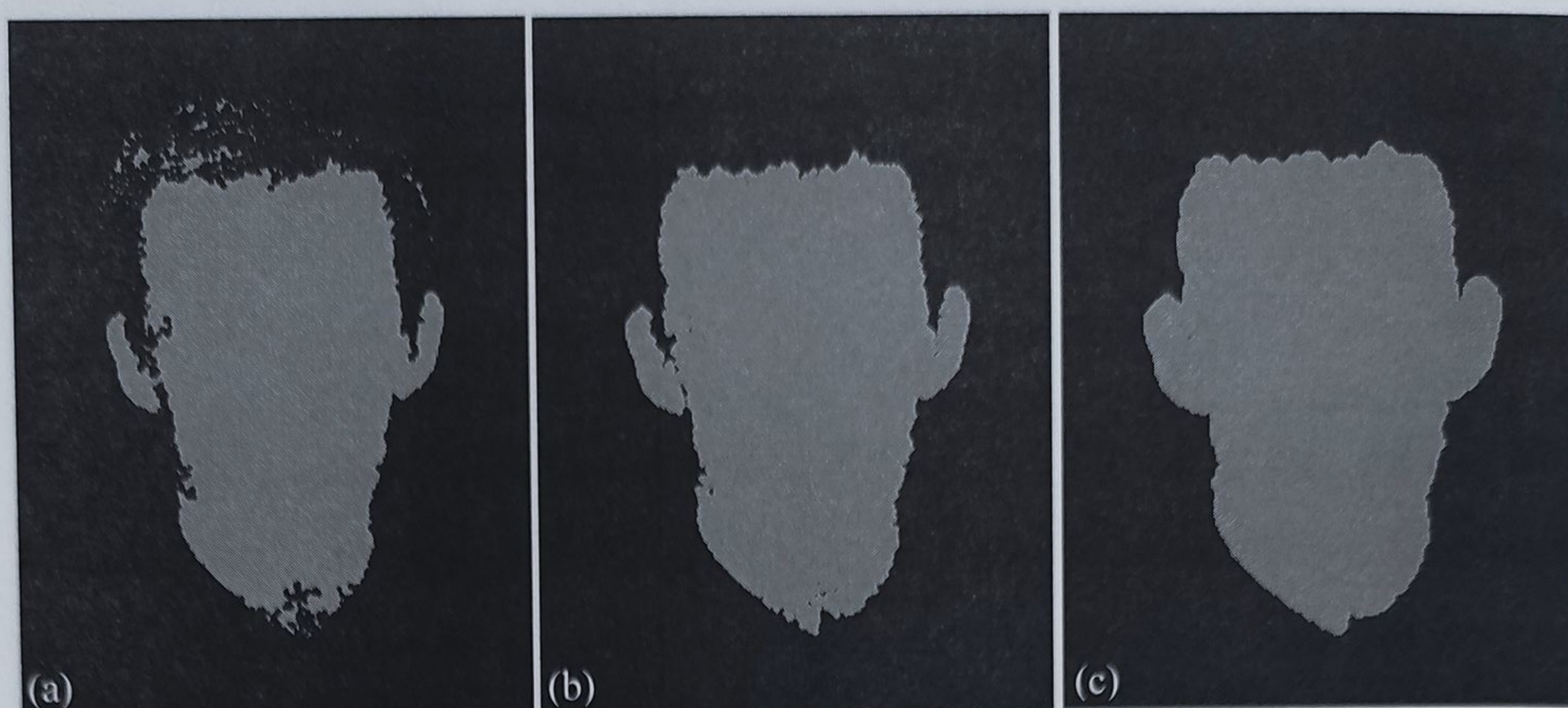
**Figura 3.9** Imaginile rezultate prin aplicarea consecutivă a operațiilor: (a) transformare în nivele de gri, (b) binarizare, (c) închidere morfologică

morfologic de închidere este aplicat asupra imaginii binare, în scopul uniformizării regiunii ce descrie chipul uman. Operația morfologică de închidere realizează gruparea particulelor separate de distanțe mici, eliminând în același timp particulele de mici dimensiuni ce nu pot fi conectate între ele. Figura 3.9 prezintă imaginile rezultate în urma aplicării operațiilor de: transformare în nivele de gri, binarizare și închidere morfologică. Studiind figura 3.9, se poate observa că procesarea imaginii binare, prin intermediul operatorului închidere morfologică, a avut ca efect eliminarea particulelor de mici dimensiuni ce nu făceau parte din regiunea de interes a chipului uman.

De asemenea, se observă o îmbunătățire a compactității suprafeței particulei de mari dimensiuni specifică chipului uman, realizată prin conectarea particulelor de mici dimensiuni separate de distanțe reduse. Conectarea particulelor de mici dimensiuni este realizată de către componenta de dilatare din structura operatorului de închidere. Dilatarea aplicată asupra imaginii binare folosind elementul structural descris de figura 3.5, realizează conectarea particulelor aflate la distanțe de câțiva pixeli. Distanța maximă de separație între două particule, ce poate fi eliminată printr-o singură aplicare a operatorului, este de trei pixeli. Distanța este calculată ca fiind maximul dintre centrul elementului structural și cel mai îndepărtat element component. Deoarece elementul structural este definit de o matrice pătratică de ordin cinci, distanța maximă va fi de trei pixeli. Particulele de mici dimensiuni, ce nu sunt conexe unor particule de arie mare, sunt eliminate de componenta de eroziune din structura operatorului închidere morfologică. Eliminarea acestora are ca efect reducerea pixelilor zgomotoși ce nu prezintă informații utile în legătură cu regiunile de interes.

În continuare, imaginea binară este supusă unei operații de eliminarea a golurilor din interiorul particulelor. Deoarece geometria particulei și implicit descriptorii utilizați în caracterizarea ulterioară a particulei sunt influențați de prezența golurilor în interiorul particulei, acestea trebuie eliminate. Prezența și geometria golurilor este determinată prin intermediul analizei binare a particulelor. Această etapă umple golurile poziționate în interiorul particulelor, realizând o ameliorare a geometriei particulei ce descrie chipul uman. Figura 3.10 (a) prezintă





**Figura 3.10** Imaginile rezultate după prelucrare, folosind operațiile de: (a) eliminare a golurilor, (b) eroziune, (c) dilatare și filtrare a particulelor, considerând ca parametru de filtrare aria particulelor

îmaginea binară rezultată în urma eliminării golurilor din interiorul particulelor. Comparând figura 3.10 (c) cu figura 3.10 (a), se poate observa că algoritmul a înlăturat golurilor din interiorul particulei, fapt ce s-a concretizat prin îmbunătățirea geometriei și a proprietăților particulei ce descriu chipului uman. Eliminarea particulelor zgomotoase ce nu descriu chipul uman este realizată prin intermediul etapelor de eroziune și filtrare după aria particulelor.

Operatorul de eroziune, aplicat în mod succesiv asupra imaginii binare, are ca rezultat eliminarea particulelor de dimensiuni reduse. Deoarece dimensiunile particulelor sunt mici în comparație cu particula de interes, acestea sunt eliminate prin aplicarea succesivă a operatorului de eroziune.

Luând în considerare că, imaginea analizată are o dimensiune de 640x480 pixeli și o arie totală de 307200 pixeli, sunt definite în continuare particulele de mici dimensiuni și particulele de interes. Particulele de dimensiuni reduse sunt caracterizate de arii specifice, a căror valori sunt regăsite în intervalul [1,280] pixeli, reprezentând sub 0.1% din aria totală a imaginii analizate. Particula de interes ce descrie regiunea chipului uman este descrisă de o arie specifică cu valori în intervalul [22000,245000] pixeli. Procentual, aceasta reprezintă un interval de interes de 7% până la 80% din aria imaginii analizate.

Stabilirea intervalului de variație specific, ariei particulei de interes, a fost realizată prin studierea modului de variație al dimensiunilor chipului uman, în raport cu apropierea sau îndepărtarea subiectului uman de camera cu care s-a realizat achiziția. Conform acestui studiu s-a stabilit intervalul de încredere ca fiind de 7% până la 80% din aria imaginii analizate. Figura 3.10 (b) prezintă imaginea determinată prin aplicarea succesivă a operatorului de erodare asupra particulelor din imagine. Această figură exemplifică procedeul de eliminare a particulelor zgomotoase descrise de o arie sub 0.1% din imagine. Stabilirea cu exactitate a particulei ce caracterizează cu exactitate regiunea chipului uman prin intermediul culorii pielii se realizează





**Figura 3.11** Imaginile prezentand: (a) regiunea de interes ce localizeaza chipul, (b) imaginea color specifica regiunii chipului, (c) regiunea de interes suprapusa peste imaginea initiala

prin aplicarea unui procedeu de filtrare ce mentine in imagine doar particulele a caror arie se incadreaza in intervalul 7% pana la 80% din imagine.

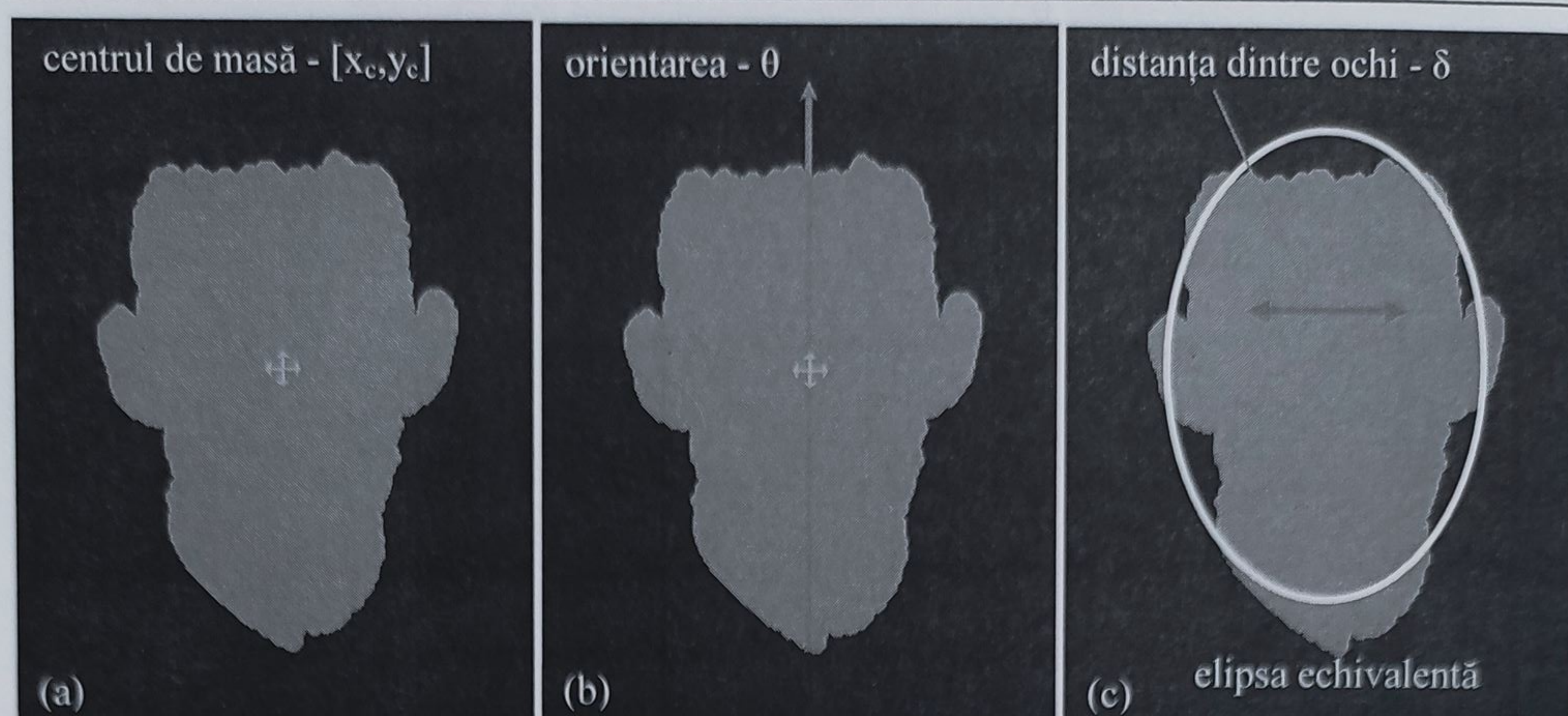
Imaginea determinata in urma acestei operatii contine particula ce descrie chipul uman este prezentata in Figura 3.11 (b). Regiunea de interes ce localizeaza chipul uman in imagine este simbolizata prin intermediul dreptunghiului de culoare rosie. Pozitionarea si dimensiunile acestuia sunt calculate astfel incat sa incadreze precis particula ce descrie chipul uman. Suprapunerea regiunii de interes peste imaginea initiala identifica localizarea chipului uman.

Determinarea regiunii de interes si suprapunerea acesteia peste imaginea initiala este prezentata in figura 3.11 (a),(c). Imaginea color ce prezinta regiunea chipului uman, este obtinuta prin eliminarea din imaginea initiala a pixelilor care prezinta valoarea logica 0 in cadrul imaginii binare, conform cu figura 3.11 (b). In imaginea initiala sunt evidentiati doar pixelii regasiti in perimetrul particulei ce descrie chipul uman din imaginea binara. Imaginea prezentata in figura 3.11(b) identifica cu precizie pixelii ce descriu suprafata pielii corespunzatoare chipului uman.

Actualizarea intervalelor tabelului de cautare ce descriu culoarea pielii umane se realizeaza plecand de la imaginea color a regiunii chipului uman, supusa unui proces de analiza pe baza histogramei. Analiza imaginii pe baza histogramei ofera informatii referitoare la distributia componentelor de culoare regasite in imagine. Informatiile furnizate de histograma sunt analizate prin comparatie cu valorile existente. Actualizarea valorilor tabelului de cautare se realizeaza calculand valori mediate, prin analiza a zece cadre consecutive pentru extremitatile intervalelor ce descriu culoarea pielii.

Urmatoarea etapa din structura algoritmului consta in calculul centrului de masa, a ariei, orientarii si elipsei echivalente proprii particulei ce descrie chipului uman. Determinarea acestor descriptori proprii particulelor are la baza calculul momentelor centrale, si mai apoi a momentelor invariabile specifice particulelor, conform formulelor de calcul (3.20),(3.23). Centrul de masa este determinat prin calculul, in prealabil, a momentului primar definitiv pentru aria particulei si a momentelor secundare ce specifica densitatea particulei, raportata la directiile ortogonale x,y, conform relatiei (3.18).





**Figura 3.12** Descriptorii utilizați pentru caracterizarea chipului uman și a trăsăturilor faciale; (a) centrul de masă, (b) orientarea chipului, (c) elipsa echivalentă și distanța dintre ochi

Centrul de masă caracterizează poziționarea particulei în planul imaginii, constituind un descriptor precis al amplasării pixelilor din componența particulei. Aria particulei este determinată de valoarea momentului primar, aceasta indicând numărul de pixeli din componența particulei. Orientarea particulei este definită ca unghiul dintre direcția orizontală și direcția față de care particula poate fi rotită cu cea mai mică inerție.

Orientarea este determinată din vectorul valorilor proprii, asociat cu cea mai mare distribuție, calculată conform relației (3.26). Pentru a calcula distanța de referință între ochi este necesară determinarea axei majore  $E_a$  și axei minore  $E_b$ , corespondente elipsei echivalente. Elipsa echivalentă este o elipsă care are același perimetru și arie precum particula ce definește chipul uman. Distanța dintre ochi, utilizată ca referință de către etapa de detecție a ochilor, se calculează conform relației de definiție (3.33). Figura 3.12 prezintă descriptorii utilizați pentru caracterizarea chipului uman și a caracteristicilor faciale. Determinarea cu precizie a descriptorilor are un rol important în structura algoritmului, deoarece aceștia influențează acuratețea de detecție a poziției ochilor.

Descriptorii calculați pe baza particulei ce descrie chipul uman, sunt utilizați ca referințe în algoritmul de localizare a ochilor și sprâncenelor. Algoritmul de detecție a chipului uman are ca scop furnizarea următoarelor informații: coordonatele ce definesc centrul chipului uman, regiunea de interes a chipului uman și distanța între ochi. Valorile acestor descriptori sunt utilizate pentru localizarea caracteristicilor faciale de interes, precum ochii și sprâncenele în imagine.

### 3.3.2. Determinarea caracteristicilor faciale

Următoarea etapă de procesare din arhitectura algoritmului are ca scop determinarea poziției caracteristicilor faciale: ochii și sprâncenele. Imaginea rezultată, în urma procesului de segmentare a regiunilor pielii, este procesată pentru evidențierea zonelor din imagine ce nu



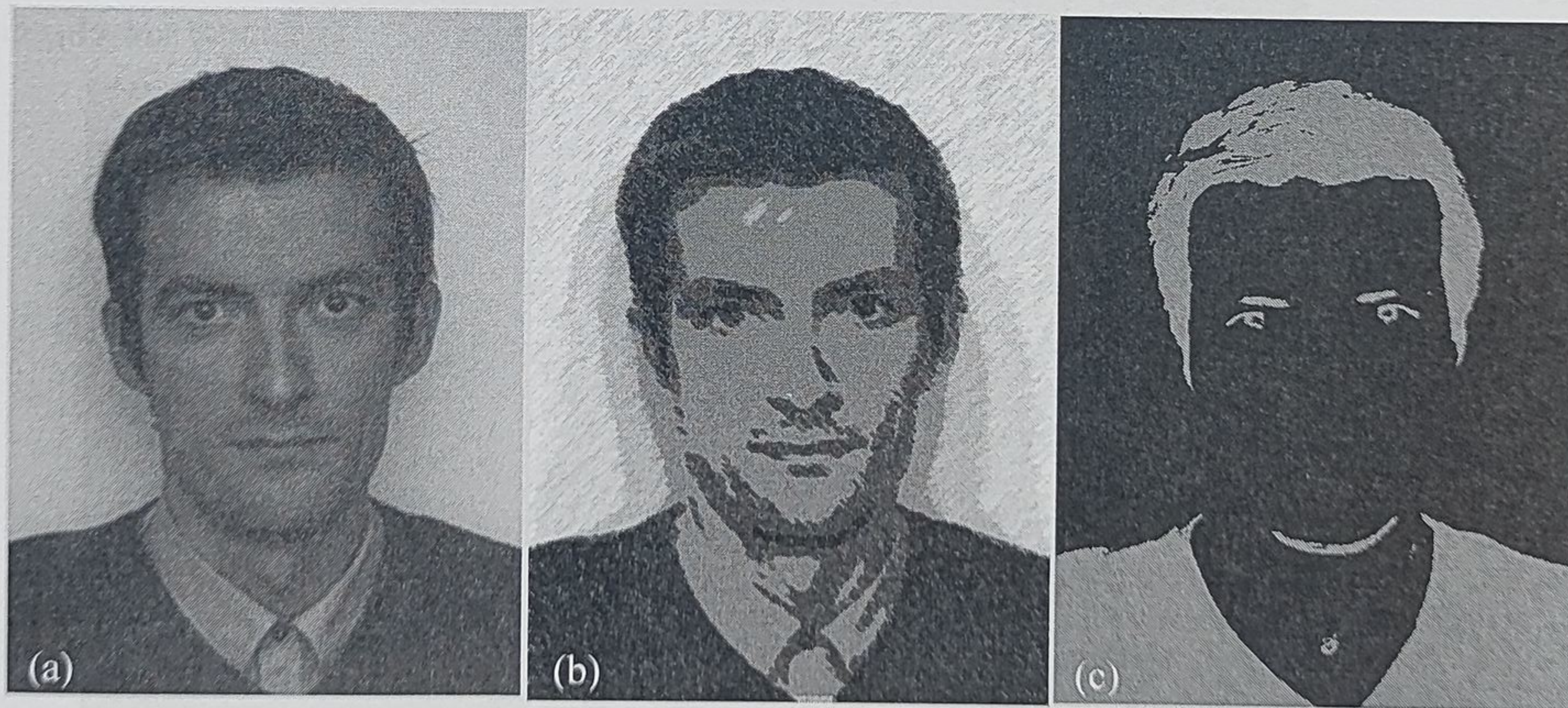
definesc pielea, utilizând o succesiune de operații morfologice. În prima etapă, imaginea de intrare este convertită din reprezentarea color în spațiul HSL, într-o reprezentare cu nuanțe de gri. Imaginea în nuanțe de gri este apoi filtrată prin intermediul unui filtru exponențial, ce îmbunătățește vizibilitatea regiunilor întunecate din imagine. Fie  $G(x,y)$  imaginea reprezentată în nuanțe de gri și filtrul de procesare a imaginii definite prin intermediul coeficienților  $\alpha=100$ ,  $\beta=1.8$ , imaginea filtrată  $F(x,y)$  este calculată conform relației (3.34).

$$F(x,y) = \alpha \left( \frac{G(x,y)}{\alpha} \right)^\beta \quad (3.34)$$

Filtrarea imaginii prin intermediul filtrului exponențial are ca scop evidențierea regiunilor din imagine ce nu sunt definite de culoarea pielii umane. Procedura evidențiază regiunile de culoare închisă printre care se află și caracteristicile faciale de interes: ochii și sprâncenele. Culoarea caracteristică ce descrie regiunile ochilor și sprâncenelor prezintă variații în afara intervalului specific pielii umane. Astfel, aplicarea filtrului are ca efect evidențierea ochilor și a sprâncenelor. Figura 3.13 prezintă imaginea inițială în spațiul de culoare HSL, împreună cu imaginea rezultată prin aplicarea filtrului exponențial de evidențiere a culorilor închise.

Operatorul de binarizare utilizează descriptorii de momente calculați pentru particulele detectate în imagine, în urma stabilirii unui nivel de prag aleatoriu, ce are ca efect binarizarea imaginii. Imaginea este separată în particulele componente și fundalul imaginii ce nu deține informații utile. Nivelul de prag este variat și pentru fiecare valoare sunt calculați descriptorii particulelor din noua imagine rezultată.

Stabilirea finală a nivelului de prag ține cont de constrângerea ce impune evidențierea regiunilor de culoare închisă din imagine și de valorile descriptorilor de particule calculați la fiecare pas. Procesul de binarizare are ca rezultat imaginea prezentată în figura 3.13(c). În figura 3.13 (c) se poate observa că prelucrarea imaginii a condus la evidențierea ochilor și a sprâncenelor, de asemenea imaginea conține și regiuni ce nu sunt de interes. Procesul de



**Figura 3.13** Rezultatele prelucrării imaginii inițiale (a) prin: (b) filtrul exponențial, (c) operatorul de binarizare conform descriptorilor de momente

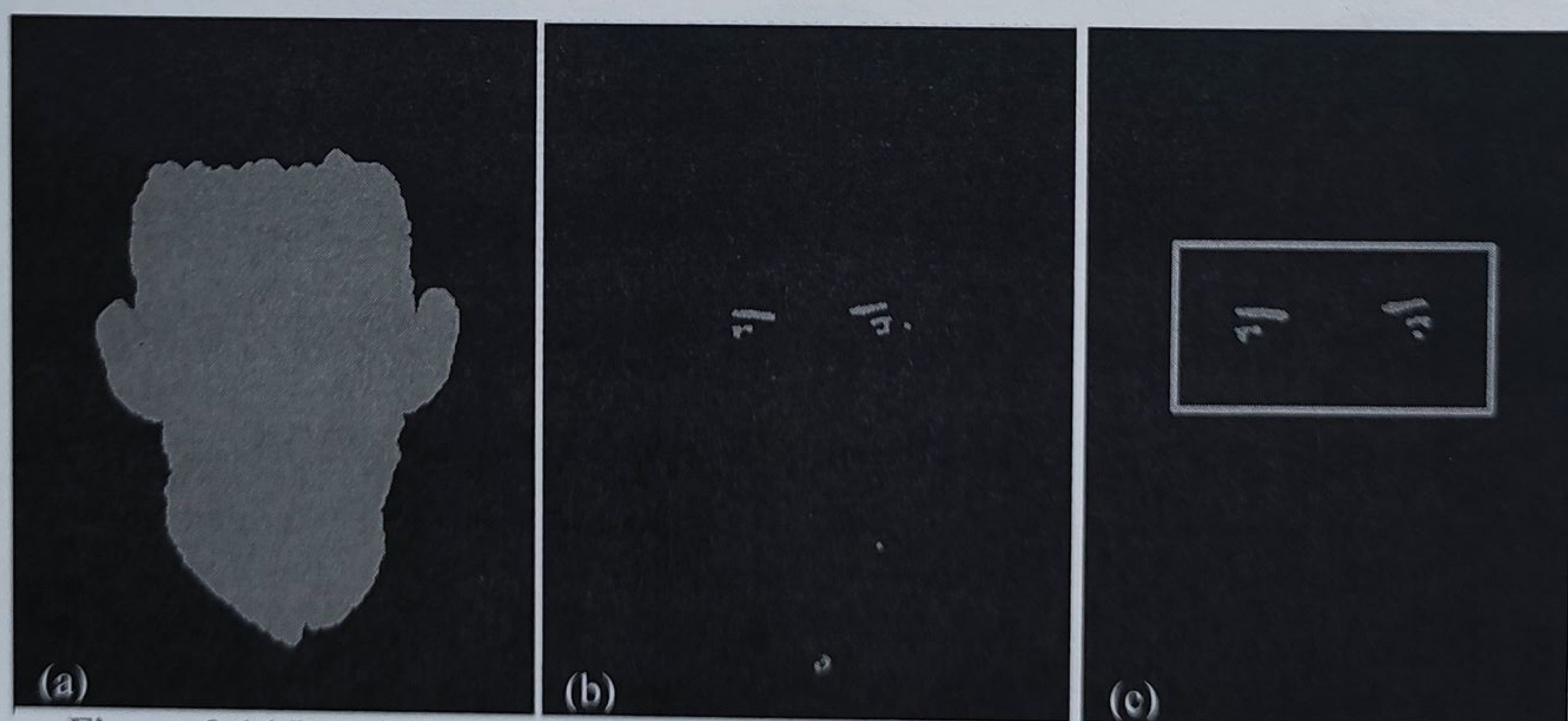


eliminarea regiunilor nesemnificative din imagine este descris în continuare. Imaginea rezultată în urma etapei de filtrare este prelucrată prin intermediul operației morfologice de deschidere. Aplicarea acesteia are ca scop gruparea particulelor învecinate din imagine. Transformările pe care le suferă imaginea în urma etapelor de prelucrare, în scopul determinării poziției ochilor umani, sunt exemplificate în figura 3.15. Operatorul morfologic de deschidere aplicat asupra imaginii are ca efect gruparea particulelor învecinate. Deschiderea morfologică realizează îmbunătățirea geometriei particulelor de interes.

Eliminarea particulelor nesemnificative de mari dimensiuni din imagine se realizează utilizând un filtru de particule, ce menține în imagine doar particulele a căror arie are valori în intervalul  $[20, 600]$  de pixeli. Intervalul de variație este stabilit prin încercări experimentale, ce au analizat influența distanței față de cameră a subiectului, asupra dimensiunilor geometrice ale caracteristicilor faciale. Particulele a căror arie este în afara unui interval prestabilit sunt eliminate pentru a facilita detecția caracteristicilor faciale. Imaginea obținută în urma aplicării acestei etape este denumită, în continuare, imaginea ce conține trăsăturile faciale. Imaginile de referință ce conțin chipul uman, respectiv ochii și sprâncenele, sunt utilizate pentru determinarea imaginii ce conține particulele considerate candidați pentru poziționarea ochilor.

Operația de determinare a imaginii utilizată pentru specificarea trăsăturilor faciale este exemplificată în figura 3.14. Particulele ce pot descrie trăsăturile faciale sunt prezente în imaginea calculată, prin scăderea din imagine a chipului, a imaginii ce conține trăsăturile faciale. Procedura are ca efect eliminarea particulelor ce nu se regăsesc în perimetrul chipului, descrise în figura 3.14 (c). În continuare este definită o regiune de interes ce delimitează o porțiune din imagine în care sunt localizate trăsăturile faciale. Dimensiunile și localizarea în imagine a regiunii de interes sunt calculate conform următorilor parametri: centrul de masă al chipului, orientarea chipului și distanța dintre ochi. Regiunea de interes este prezentată în figura 3.14 (c) prin intermediul dreptunghiului de culoare albastră. Poziționarea regiunii de interes este situată superior centrului de masă al chipului pe direcția descrisă de orientarea acestuia.

Dimensiunile regiunii de interes sunt prescrise de valorile axelor majore și minore ale elipsei



**Figura 3.14** Imaginile corespunzătoare: (a) chipului, (b) ochilor, (c) particulelor ce descriu trăsăturile faciale



echivalente chipului uman. Prin intermediul regiunii de interes sunt eliminate din imagine particulele a căror poziții sunt exterioare perimetrului său. Imaginea obținută în urma acestui procedeu de filtrare este folosită în continuare pentru calculul cu exactitate a localizării trăsăturilor faciale.

### 3.3.3. Determinarea cu precizie a localizării trăsăturilor faciale

Organigrama algoritmului responsabil de calculul pozițiilor trăsăturilor faciale este prezentată în figura 3.16. Calculul localizării, în imagine, a trăsăturilor faciale ține cont de următorii descriptori ai chipului uman, utilizați ca referințe: centrul de masă al particulei ce descrie chipul, orientarea chipului și distanța dintre ochi.

Procedeele de procesare ce sunt aplicate pentru localizarea trăsăturilor faciale au ca punct de plecare imaginea de referință. Imaginea de referință conține particulele a căror geometrie și poziționare respectă constrângerile impuse până în acest moment de etapele de procesare. Deoarece particulele regăsite în imagine îndeplinesc condițiile impuse, acestea constituie candidații fiabili ce pot localiza poziția ochilor și a sprâncenelor. Conform organigramei descrise în Figura 3.16, se observă aplicarea în continuare a operatorilor morfologici de procesare a imaginii binare. Prelucrarea imaginii are ca primă etapă aplicarea operatorului de dilatare.

Operatorul de dilatare folosit asupra particulelor, are ca scop îmbunătățirea geometriei particulelor prin mărirea ariei și uniformizarea perimetrului acestora. Transformările suferite de particule conduc la o creștere a capabilităților descriptive din punct de vedere al regiunii descrise. Cu alte cuvinte, particulele vor descrie precis regiunile ochilor și sprâncenelor. Particulele regăsite în imagine, localizate la marginea imaginii sunt eliminate de următoarea etapă de procesare. Marginea este definită ca o regiune de cinci pixeli, specificată de perimetrul imaginii și poziționată spre interiorul acesteia.

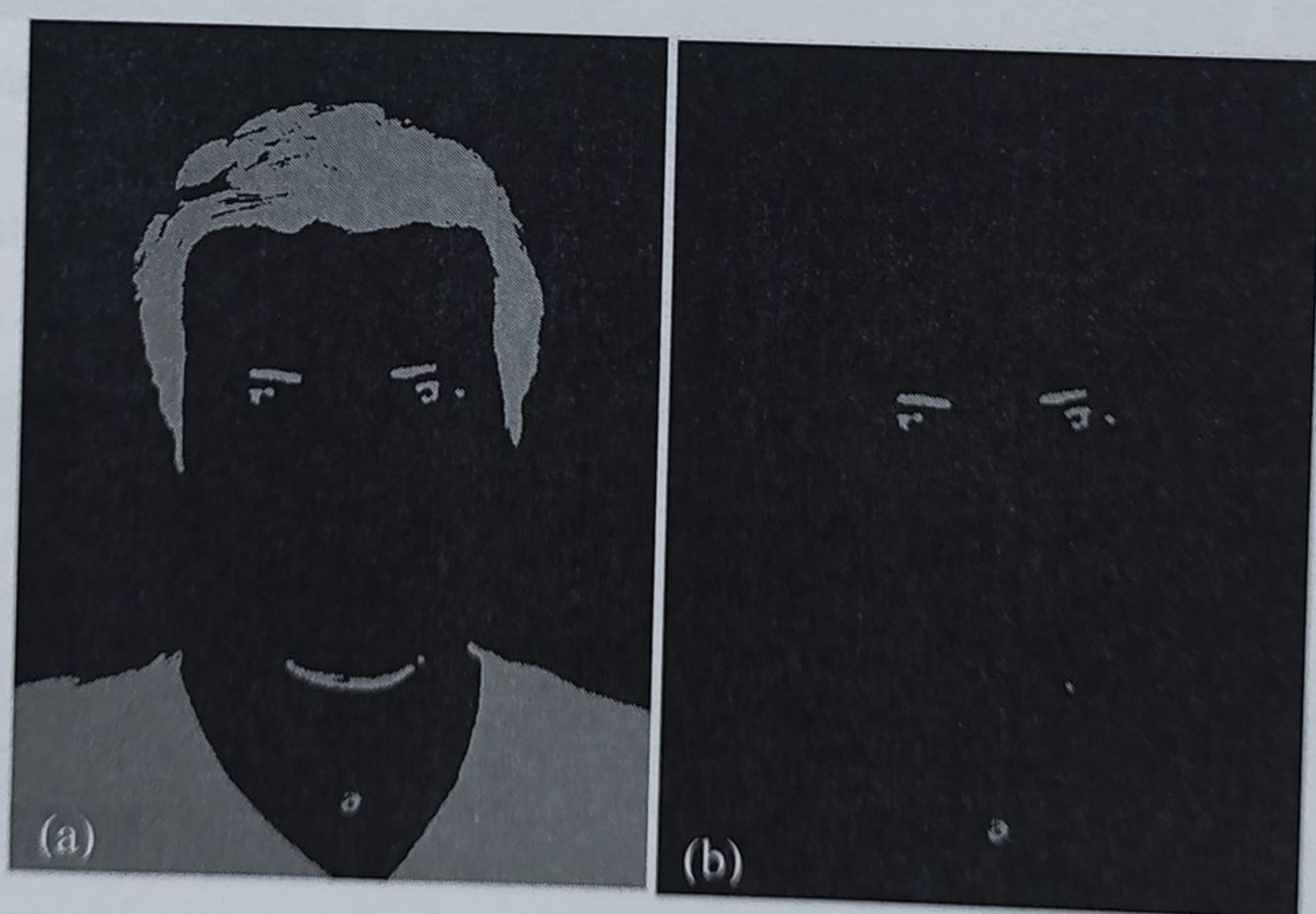
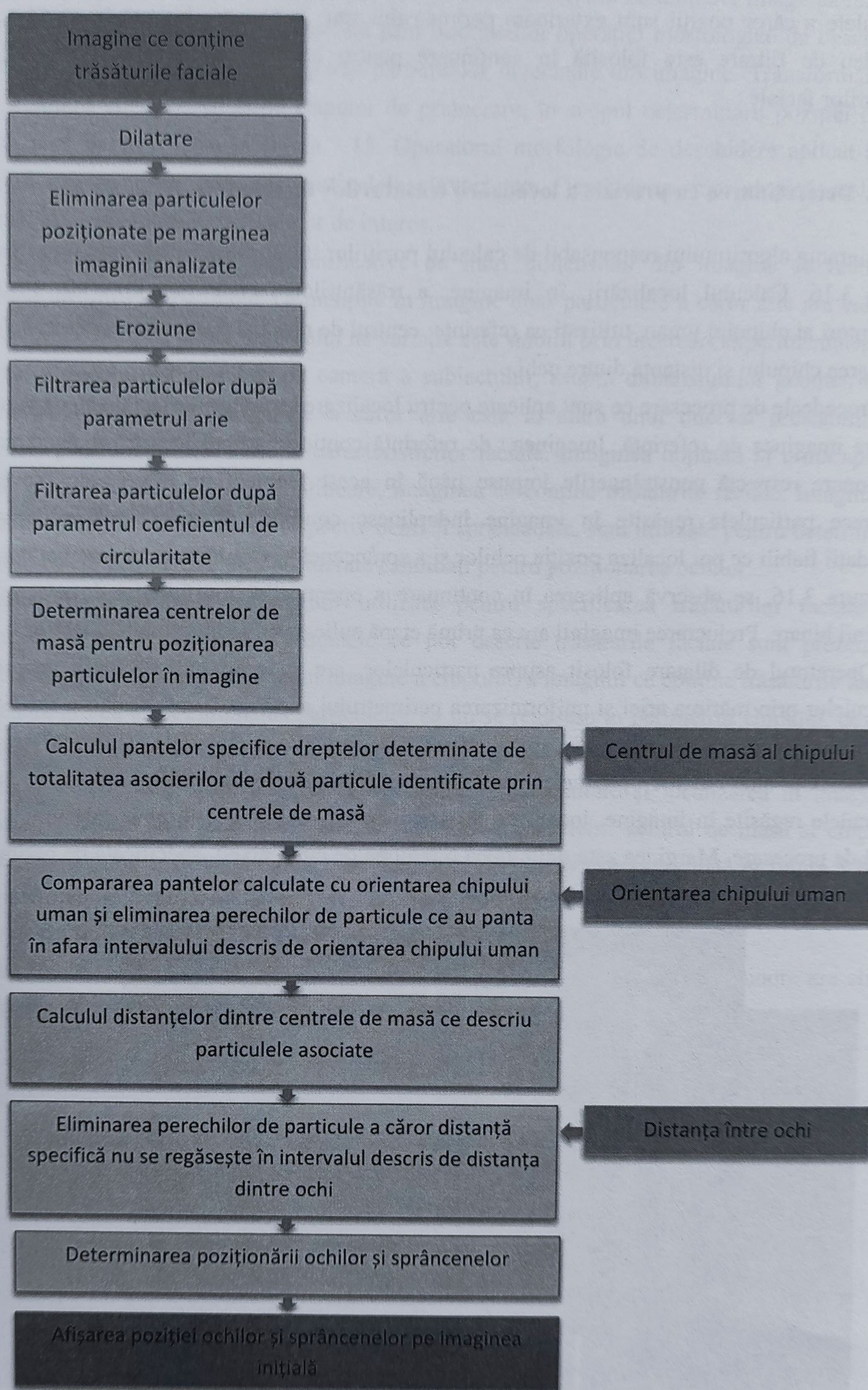


Figura 3.15 Imaginile obținute în urma aplicării etapelor de procesare: (a) deschidere morfologică, (b) filtrare





**Figura 3.16** Organigrama etapei de determinare cu precizie a trăsăturilor faciale



Particulele poziționate în această regiune sunt eliminate, deoarece nu conțin informații utile. Particulele de mici dimensiuni a căror arie nu depășește zece pixeli sunt eliminate prin procesarea imaginii cu operatorul de eroziune. Prelucrarea imaginii cu acest operator are ca rezultat eliminarea particulelor zgomotoase și separarea particulelor de interes ce au posibilitatea de descriere a trăsăturilor faciale. Imaginea este supusă în continuare unui filtru ce menține în imagine doar particulele a căror arie este regăsită în intervalul  $[20,600]$  pixeli.

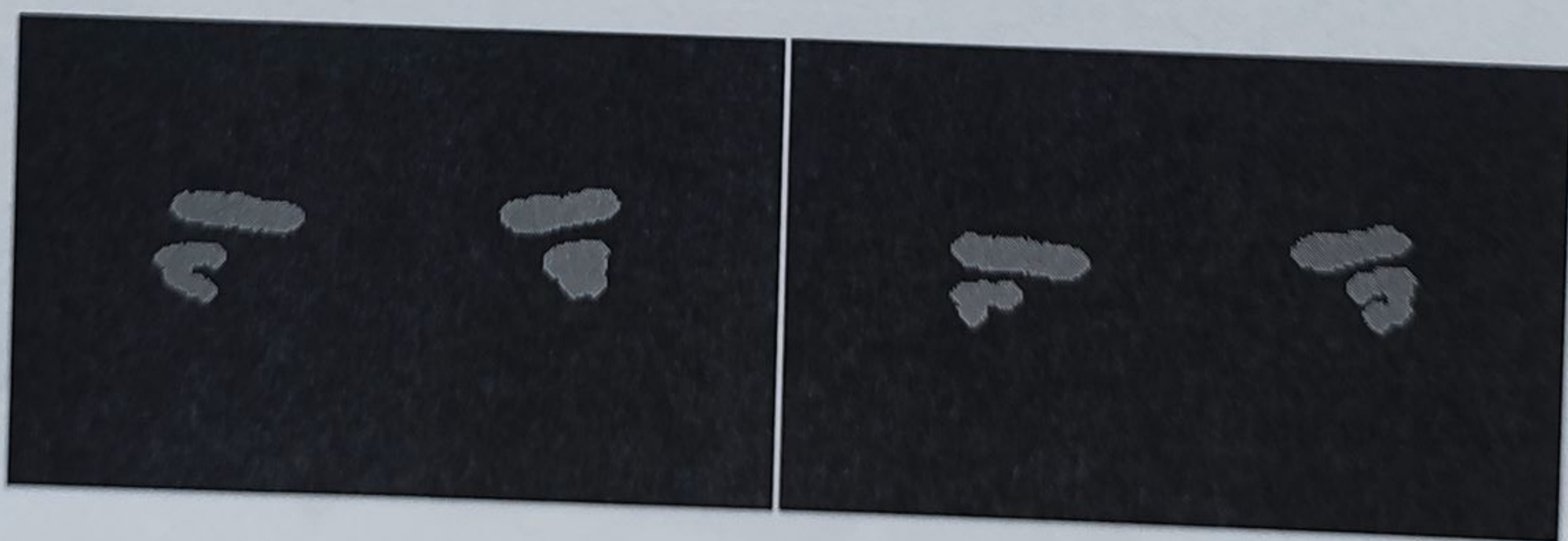
Procesarea imaginii cu acest operator are ca scop eliminarea particulelor de mari dimensiuni ce pot apărea în imagine, ca urmare a suprapunerii diferitelor obiecte peste chipul uman. În continuare, particulele existente în imagine sunt analizate utilizând constrângeri privind valorile factorului de circularitate Heywood notat  $\rho$ , calculat pentru fiecare particulă. Factorul de circularitate  $\rho$  este calculat prin împărțirea perimetrului la circumferința cercului de aceeași arie ca și particula, conform relației (3.35).

Factorul de circularitate caracterizează forma geometrică a particulei. Cu cât valoarea factorului de circularitate este mai apropiată de unu, cu atât particula are o formă mai circulară.

$$\rho = \frac{p}{2\sqrt{\pi A}} \quad (3.35)$$

Filtrul menține în imagine particulele a căror factor de circularitate calculat se regăsește în intervalul  $[0.35,1]$ . Determinarea valorilor de interes ale acestui interval s-a realizat prin studii experimentale realizate asupra particulelor ce descriu trăsăturile faciale. Filtrul menține în imagine particulele a căror factor de circularitate calculat se regăsește în intervalul  $[0.35,1]$ . Determinarea valorilor de interes ale acestui interval s-a realizat prin studii experimentale realizate asupra particulelor ce descriu trăsăturile faciale. Figura 3.17 prezintă două imagini binare ce conțin particule de interes a căror factor de circularitate respectă limitele. Procedeu de filtrare a particulelor are ca rezultat delimitarea particulelor ce pot descrie locația ochilor și sprâncenelor. Determinarea cu exactitate a poziționării perechilor de particule, ce descriu trăsăturile faciale, se realizează prin calculul pentru fiecare particulă a centrului de masă, utilizând momentele primare conform formulei (3.18).

Centrul de masă caracterizează poziția particulei în imagine și este utilizat pentru determinarea distanței dintre un set de particule. Considerând o pereche de particule bine definite de pozițiile  $a(x_1, y_1)$ ,  $b(x_2, y_2)$ , lungimea  $\delta'$  și orientarea  $\alpha$  a segmentului de dreaptă determinat de cele două particule, sunt calculate conform formulelor (3.36).



**Figura 3.17** Imagini ce conțin particule de interes a căror factor de circularitate respectă limitele impuse



$$\begin{aligned}\delta' &= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \\ \alpha &= \frac{180}{\pi} \tan^{-1} \left( \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \right)\end{aligned}\quad (3.36)$$

Caracteristicile faciale, poziția ochilor și a sprâncenelor sunt determinate cu precizie datorită măsurătorilor realizate pe particulele din imagine, folosind descriptorii momentelor primare.

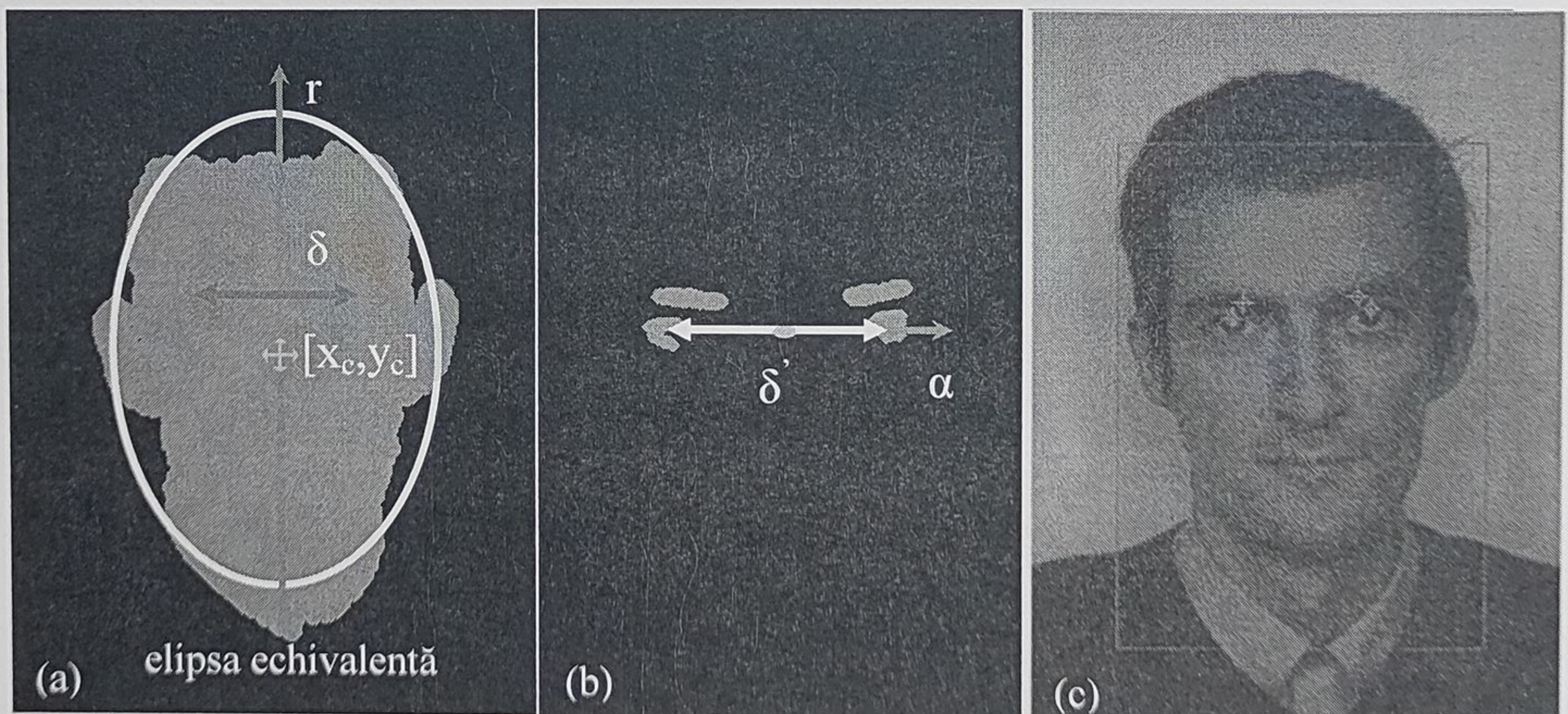
Prima constrângere este impusă de orientarea segmentului definit de cele două puncte ce caracterizează centrele particulelor din pereche. Astfel perechile de particule sunt considerate fiabile dacă orientarea specifică satisface constrângerea descrisă de relația (3.37). În această relație,  $\theta$  definește toleranța de orientare ce o poate avea asocierea de particule, având ca referință orientarea chipului uman. Toleranța  $\theta$  este exprimată în grade.

$$\alpha = (r \pm 90) \pm \theta, \theta = 4 \quad (3.37)$$

Relația (3.37) impune ca orientarea segmentului determinat de asocierea a două particule  $\alpha$ , să fie egală cu direcția dreptei perpendiculare pe vectorul de orientare al chipului ( $r \pm 90$ ), considerând o toleranță  $\theta = 4$  grade. Asocierile de particule care au îndeplinit constrângerea impusă, cu privire la orientare, sunt triate în continuare prin intermediul lungimii segmentului de dreaptă specific. Etapa a doua de prelucrare elimină din imagine asocierile de particule a căror distanțe proprii nu respectă, nu îndeplinesc constrângerea descrisă de relația (3.38).

$$\delta' = \delta \pm \varepsilon, \varepsilon = 15 \quad (3.38)$$

Relația (3.38) impune ca distanța dintre particulele asociate să fie egală cu distanța dintre ochi, considerând o toleranță  $\varepsilon = 15$  pixeli. În această relație,  $\varepsilon$  definește toleranța în lungime pe care o poate avea distanța dintre particulele asociate. Distanța dintre ochi, calculată de algoritmul de detecție a chipului uman este utilizată în acest caz, ca referință în procesul de selectare a particulelor. Figura 3.18 (a) prezintă parametrii de referință furnizați de algoritmul de detecție a chipului uman. Figura 3.18 (b) prezintă modul de calculare a distanței și orientării specifice asocierii dintre două particule descrise de centrele de masă.



**Figura 3.18** Prezentarea parametrilor utilizați în determinarea trăsăturilor faciale: (a) parametrii de referință, (b) parametrii calculați pentru fiecare asociere de particule, (c) rezultatul final al algoritmul de detecție a chipului și a trăsăturilor faciale



Pentru a detecta poziționarea sprâncenelor în imagine, algoritmul selectează perechile de puncte ce îndeplinesc condițiile menționate anterior și în plus aceste puncte trebuie să fie poziționate deasupra perechii de ochi determinate. Algoritmul calculează cea mai bună potrivire pentru poziționarea ochilor și a sprâncenelor luând în considerare constrângerile spațiale descrise. Figura 3.18. (c) prezintă rezultatele procedurii de detecție a chipului, a poziției ochilor și sprâncenelor prin intermediul parametrilor specifici integrați de algoritm.

### 3.4. Studiu asupra preciziei algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale

Imaginile utilizate pentru testarea experimentală a preciziei și a performanțelor algoritmului au fost achiziționate utilizând o cameră video digitală Sony XCD-V60CR, cu o rezoluție de 480x640 pixeli și o rată de achiziție de 90 cadre pe secundă. Cadrele de imagine rezultate în urma achiziției sunt stocate pe hard diskul computerului, sub forma unor fișiere binare, care mai apoi sunt citite și prelucrate de către algoritmul de prelucrare. Studiarea performanțelor algoritmului a fost realizată prin intermediul a 27 fișiere de secvențe video. Fișierele video realizează monitorizarea subiectului uman pe parcursul a diferite situații experimentale.

Pe parcursul achiziției secvențelor video subiectul menține orientarea de referință a chipului constantă și ochii deschiși. Situațiile cheie ce compun cadrul experimental utilizat în studierea performanței algoritmului sunt descrise prin figura 3.19. Fișierele video sunt formate din 270 de cadre imagine achiziționate cu 90 cadre pe secundă pe parcursul intervalului de trei secunde. Autorul a ales aceste specificații pentru fișierele video, deoarece rezoluția în timp de 90 cadre pe secundă oferă o bună modalitate de evaluare a preciziei algoritmului pe durata a 270 de cadre. Situațiile cheie din componența cadrului experimental sunt concepute de autor pentru a permite realizarea unui studiu amănunțit asupra performanțelor algoritmului. Performanțele algoritmului

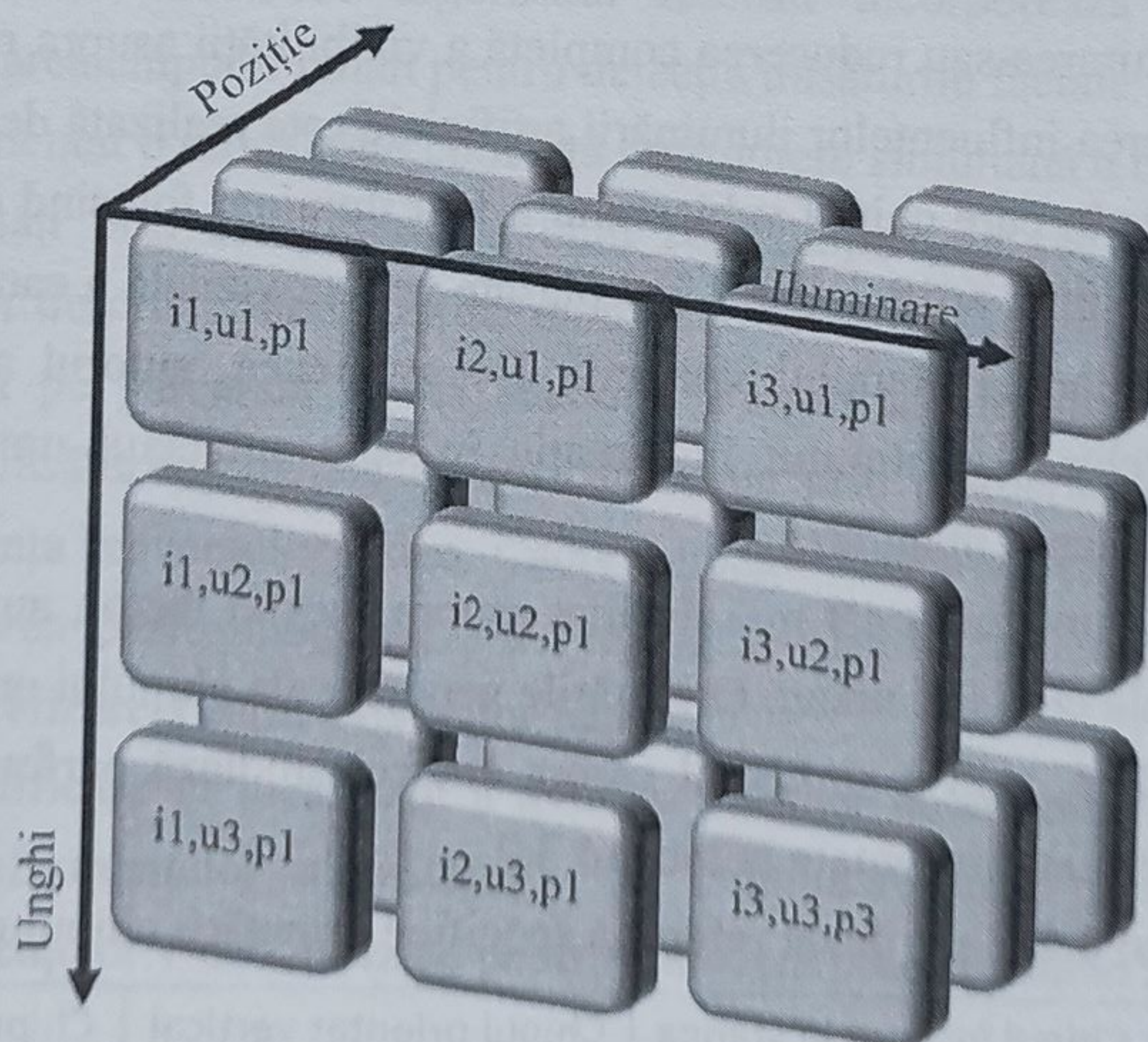


Figura 3.19 Structura cadrului experimental utilizat în studierea performanțelor algoritmului



sunt analizate din punct de vedere al influențelor cauzate de următorii factori:

- i. condițiile variabile de iluminare;
- ii. unghiul de înclinare a chipului uman în planul imaginii;
- iii. distanța subiectului uman în raport cu camera video.

Algoritmul de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale implementat de autor este capabil să își îndeplinească funcționalitatea, prelucrând secvențe video în care iluminarea ambientală variază. Dinamica iluminării ambientale poate produce diminuarea vizibilității regiunii faciale sau apariția unor zone de interes false. Studiarea acestor influențe a fost realizată prin achiziția de imagini în trei condiții de iluminare diferite. Intensitatea luminoasă în planul imaginii a fost măsurată la începerea procesului de achiziție a fiecărei secvențe de imagini, utilizând un luxmetru. Valorile intensităților luminoase corespunzătoare condițiilor de iluminare analizate sunt prezentate în tabelul 3.1.

**Tabelul 3.1** Valorile intensităților luminoase corespunzătoare condițiilor de iluminare analizate

	Naturală ziua	Naturală după-amiaza	Artificială după amiaza
Iluminare [lx]	360 lx	300 lx	130 lx

Conform datelor indicate prin intermediul tabelului, referitoare la iluminarea ambientală, autorul analizează performanțele algoritmului în situațiile cel mai des întâlnite, în care poate funcționa un sistem de detecție a chipului și trăsăturilor faciale.

Situațiile cu precădere întâlnite sunt descrise de lumina naturală ziua, lumina naturală de după-amiază ce prezintă o intensitate redusă și iluminarea artificială în situații de iluminare foarte redusă. Iluminarea artificială este utilizată de multe sisteme de achiziție de imagini pentru compensarea nivelului insuficient al intensității luminoase.

Iluminarea artificială a cadrului imaginii poate prezenta avantajul îmbunătățirii vizibilității regiunii de interes din imagine, însă este cunoscut faptul că o iluminare artificială eronată conduce la obturarea sau reducerea completă a vizibilității asupra regiunii de interes din planul imaginii. Studiarea influențelor iluminării artificiale este realizată de autor prin analizarea imaginilor achiziționate în care chipul subiectului a fost iluminat folosind două surse de lumină artificiale. Sursele de lumină artificiale au fost plasate pe axa vizuală a camerei video, realizând o iluminare perpendiculară a planului imaginii. De asemenea, autorul a considerat necesară analizarea performanțelor algoritmului în situația în care subiectul uman prezintă orientări diferite ale chipului în planul imaginii.

Pentru a realiza un studiu cât mai detaliat asupra acestui factor, autorul a considerat trei orientări de referință ale chipului uman. Orientările generale ale chipului uman sunt sintetizate în trei orientări de referință, prin intermediul cărora autorul studiază performanțele algoritmului. Orientările de referință sunt prezentate în tabelul 3.2.

**Tabelul 3.2** Valorile de referință specifice orientării chipului uman

	Chipul înclinat la stânga	Chipul orientat vertical	Chipul înclinat la dreapta
Orientare [grade]	60	90	120



Deoarece algoritmul de detectie a chipului uman utilizeaza informatii referitoare la caracteristicile faciale, pentru a isi indeplini functionalitatea, performantele acestuia pot fi influentate de orientarea chipului uman.

Orientarea chipului poate obtura vizibilitatea caracteristicilor faciale. De aceea, autorul prin integrarea valorilor de referinta ale orientarii chipului, in cadrul experimental studiaza si influenta acestui factor asupra performantelor algoritmului. Un factor important, a caror influenta au fost analizate, il reprezinta distanta dintre camera video si planul subiectului uman. Tabelul 3.3 prezinta influenta distantei de pozitionare a subiectului uman relativ la camera video asupra ariei chipului uman masurata in planul imaginii.

**Tabelul 3.3** Influenta distantei relative fata de camera video asupra ariei chipului uman masurata in cadrul imaginilor analizate

Distanța relativă față de camera video [cm]	Aria medie a chipului [pixeli]	Aria chipului ca procent din aria imaginii [%]
160	73320	23.86
120	101665	33.09
80	169677	55.23

Dimensiunile chipului uman regasit in imaginile achizitionate prin pozitionari diferite ale subiectului, relative la camera video vor avea valori diferite. Astfel, o pozitionare a subiectului mai aproape de camera video se va manifesta prin cresterea dimensiunilor chipului uman din imagine, in comparatie cu o pozitionare mai indepartata.

Autorul a decis achizitia de imagini ce monitorizeaza subiectul uman pozitionat la distantele de: 80, 120, 160 cm, relative in raport cu camera video. Conform cu tabelul 3.3, se observa ca o plasare a subiectului uman la distanta de 160 cm relativ la camera video se manifesta prin reducerea cu 43% a ariei chipului uman detectat de algoritm. Autorul considera necesara analizarea acestui factor, deoarece algoritmul realizat incorporeaza informatii legate de dimensiunea si orientarea chipului uman pentru detectia trasaturile faciale.

Autorul a implementat o modalitate concreta de studiere simultana a caracterului perturbator al factorilor mentionati prin achizitionarea unui set complet de secvente video ce acopera combinatiile factorilor descriși. Setul contine un numar de 27 de secvente video achizitionate cu 90 cadre pe secunda pe parcursul a trei secunde. Performantele algoritmului de detectie a chipului uman si a trasaturilor faciale au fost analizate prin prelucrarea celor 7290 de cadre imagine din componenta secventelor video. Cadrele imagine surprind capul si umerii subiectului uman. Pentru evaluarea performantelor, s-a realizat o identificare manuala a descriptorilor chipului uman si o localizare a caracteristicilor faciale.

Procesul de identificare si localizare a avut ca rezultat determinarea referintelor folosite pentru evaluarea performantelor algoritmului. In continuare este prezentata o privire de ansamblu asupra secventelor video utilizate pentru a analiza performantele algoritmului.



Figura 3.20 prezintă imaginile reprezentative asociate secvențelor video achiziționate în cazul unei iluminări ambientale de 360 lx. Iluminarea 360 lx caracterizează lumina ambientală măsurată în cadrul vizual al imaginii, specifică unei zile însorite.

Achiziția imaginilor a fost realizată în cadrul unei încăperi cu lumină ambientală naturală. Distanța măsurată între subiect și camera video este inițial stabilită la valoarea maximă de 160 cm. Considerând stabiliți parametrii iluminare și distanță, au fost achiziționate trei imagini în care subiectul uman își menține chipul orientat la 60, 90 și 120 grade.

Aria chipului uman măsurată de către algoritm în acest caz prezintă o valoare medie de 23.86 % din aria totală a imaginii. Următorul set de imagini în care subiectul are orientările de referință ale chipului de 60, 90, 120 grade este achiziționat pentru iluminarea ambientală de 360 lx, și distanța dintre subiect și camera video stabilită la 120 cm. În acest caz, se observă o creștere a ariei medii măsurate, ce caracterizează regiunea chipului uman la 33.09 % din aria totală a imaginii. Un al treilea set de imagini este achiziționat pentru iluminarea ambientală de 360 lx și distanța stabilită la valoarea de 80 cm. Valoarea medie a ariei măsurate ce caracterizează regiunea chipului uman este de 55.23% din aria totală a imaginii.

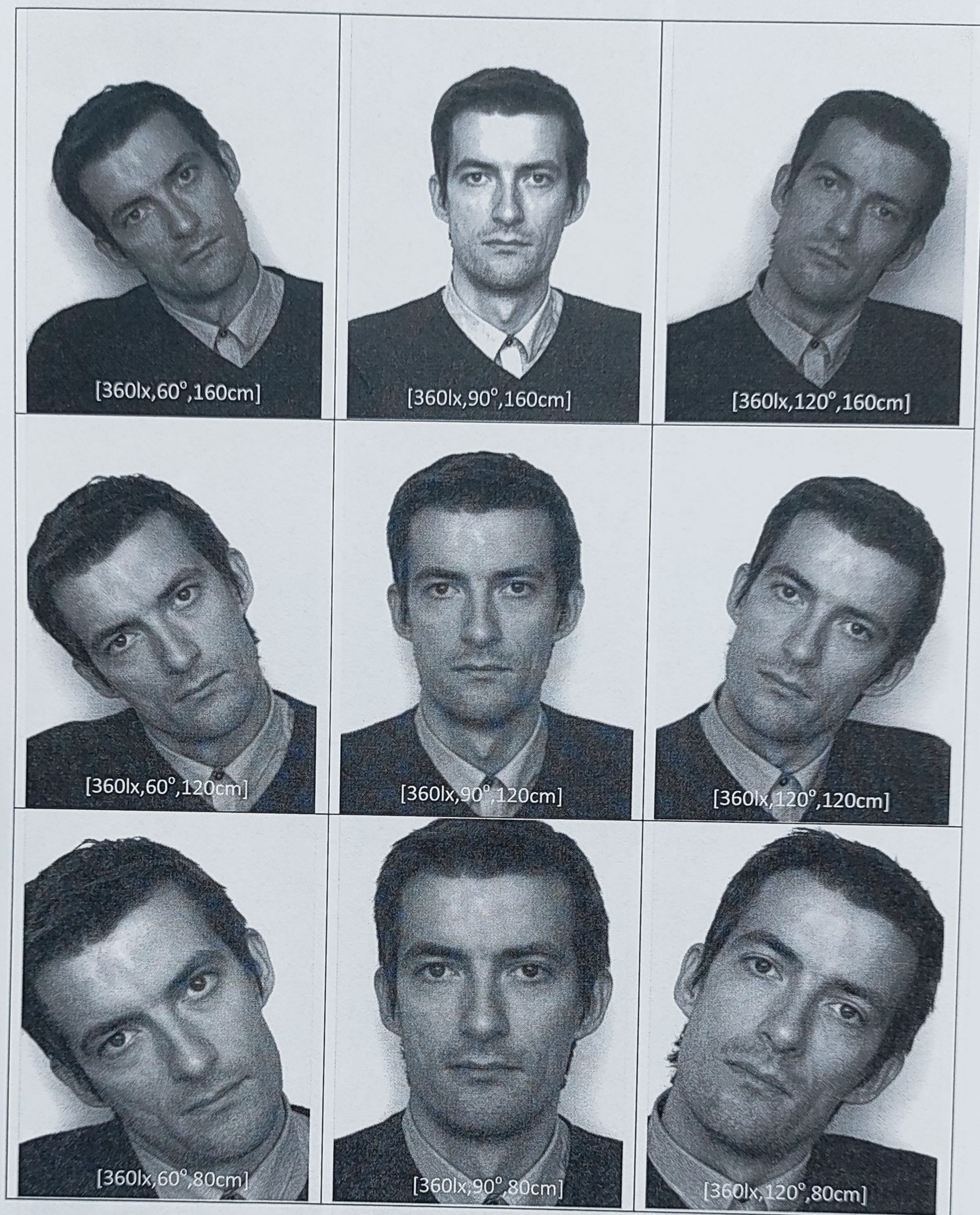
Chipul uman este reprezentat în aceste imagini de un număr de particule mai mare cu 43 %, în comparație cu cadrele imagine unde subiectul este plasat la 160 cm depărtare de camera video. Urmărind protocolul de stabilire a parametrilor mai sus descris sunt achiziționate secvențele video în care valoarea iluminării ambientale diferă.

Figura 3.21 prezintă imaginile reprezentative pentru secvențele video achiziționate în condițiile iluminării ambientale de 300 lx, în care subiectul prezintă o orientare a chipului și o poziționare relativă la camera video conform cadrului experimental. Iluminarea de 300 lx a fost măsurată după-amiaza, în încăperea iluminată în mod natural. Secvențele video achiziționate în condiții de iluminare redusă sunt menite să completeze modul de analiză, prin studierea influențelor cauzate de reducerea iluminării.

Secvențele achiziționate în condiții de iluminare reduse, compensate de lumină artificială sunt prezentate în

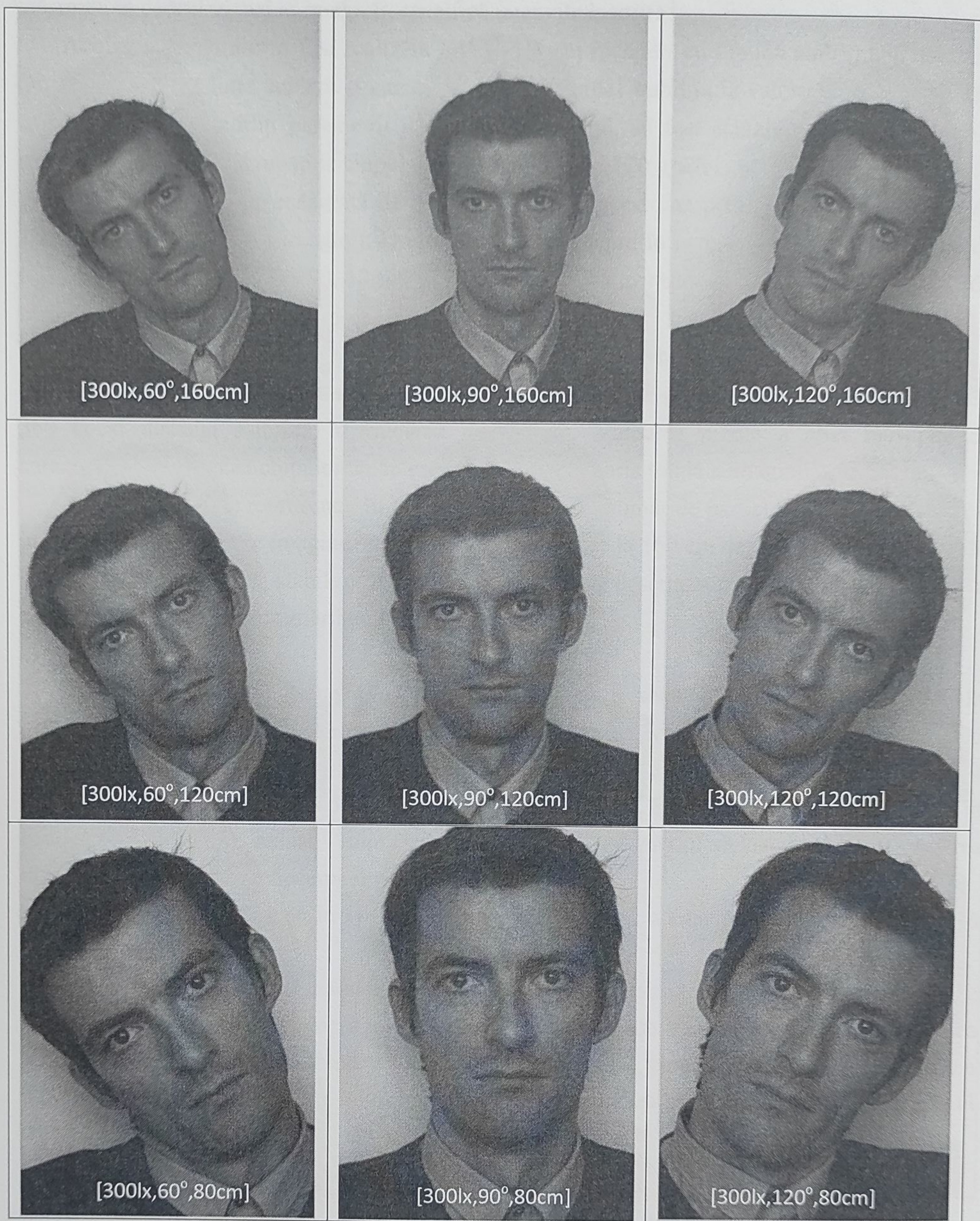
figura 3.22. Respectând aceeași procedură, au fost achiziționate nouă secvențe video în care au fost variate orientarea chipului și distanța dintre subiectul uman și cameră. Iluminarea ambientală de 130 lx a fost obținută prin poziționarea paralel, pe axa vizuală a camerei video a două proiectoare ce au furnizat o lumină difuză. Lumina difuză a iluminat perpendicular planul descris de subiectul uman.





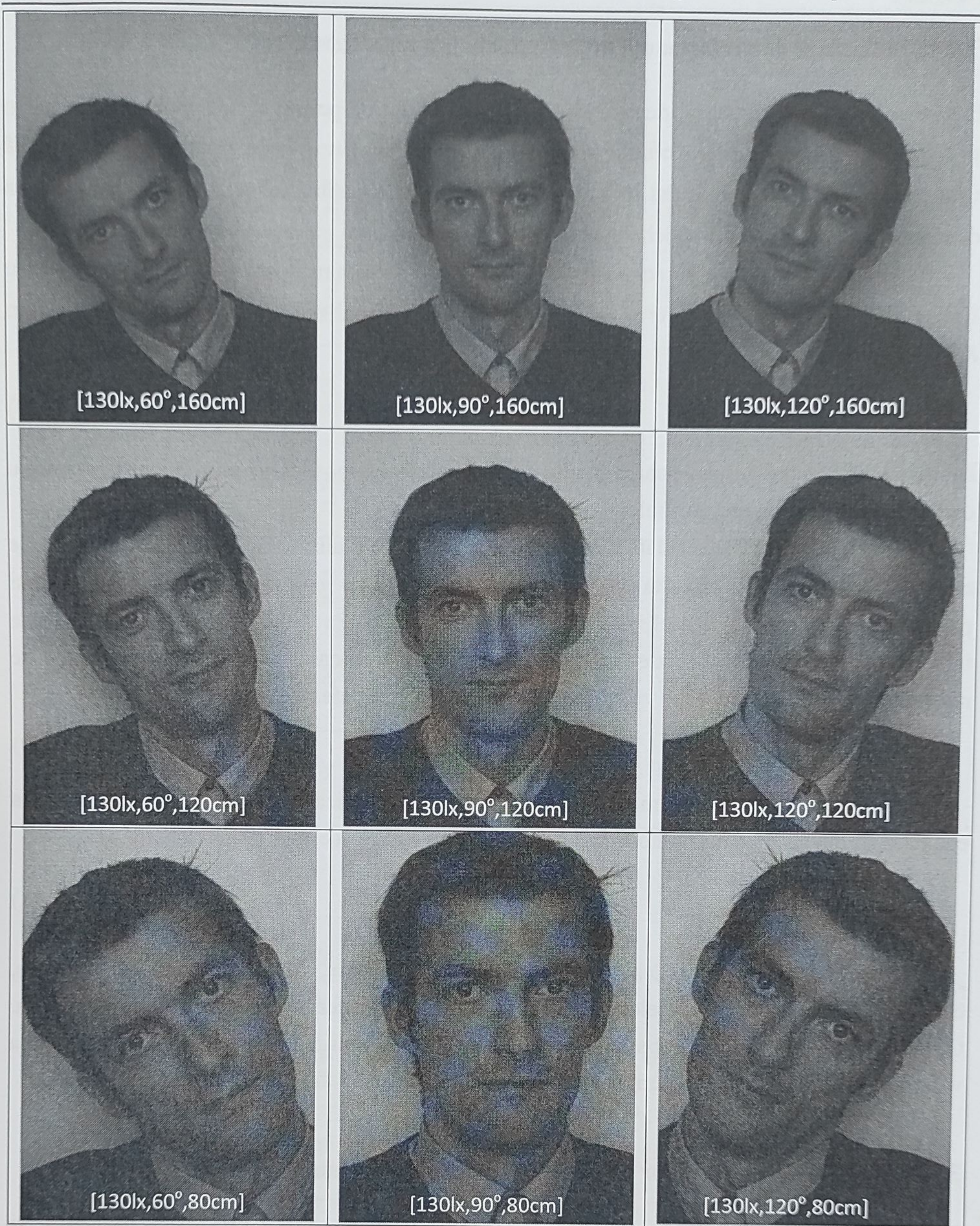
**Figura 3.20** Imaginile reprezentative pentru secvențele video achiziționate în condițiile iluminării ambientale de 360 lx, în care subiectul prezintă o orientare a chipului și o poziționare relativă la camera video, conform cadrului experimental





**Figura 3.21** Imaginile reprezentative pentru secvențele video achiziționate în condițiile iluminării ambientale de 300 lx, în care subiectul prezintă o orientare a chipului și o poziționare relativă la camera video, conform cadrului experimental





**Figura 3.22** Imaginile reprezentative pentru secvențele video achiziționate în condițiile iluminării ambientale de 130 lx, în care subiectul prezintă o orientare a chipului și o poziționare relativă la camera video, conform cadrului experimental



### 3.4.1. Indicatorii de performanță utilizați în analiza algoritmului

Precizia cu care se realizează identificarea particularităților ce permit localizarea chipului uman și a trăsăturilor faciale este definită utilizând relația (3.39). În această relație  $K_{alg}$  reprezintă valoarea unui parametru măsurat în mod automat de către algoritm, iar  $K_{ref}$  reprezintă valoarea de referință determinată prin etichetarea manuală a poziției unui parametru specific.

Determinarea manuală a secvenței de valori  $K_{ref}$ , corespunzătoare unui parametru pentru fiecare cadru imagine, stabilește o referință fiabilă pentru analiza valorii returnate de algoritm  $K_{alg}$ .

$$\pi = \left( \frac{K_{alg} - K_{ref}}{K_{ref}} \right) * 100 \quad (3.39)$$

De asemenea, se definește valoarea medie ce caracterizează localizarea unui anumit parametru de interes prin intermediul formulei (3.40).

Valoarea medie este calculată atât pentru determinările realizate manual, cât și pentru cele măsurate de algoritm. În această relație,  $K_i$  reprezintă șirul de măsurători realizate asupra unui parametru,  $N$  descrie numărul măsurătorilor din componența șirului. Valoarea medie este importantă în estimarea preciziei măsurătorilor, deoarece valoarea medie a unei secvențe de măsurători descrie cel mai bine valoarea reală a mărimii măsurate.

$$\mu = \frac{\sum_{i=0}^N K_i}{N} \quad (3.40)$$

Se calculează de asemenea abaterea medie pătratică ce caracterizează dispersia elementelor din șirul de măsurători, față de media aritmetică a acestora, prin relația (3.41).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (K_i - \mu)^2}{N - 1}} \quad (3.41)$$

Abaterea medie pătratică a fost utilizată ca indicator al incertitudinii de măsurare, caracterizând dispersia rezultatelor obținute, considerând ca referință valoarea medie a acestora. O măsurătoare ce prezintă o abatere standard cu o valoare mai mare, având ca referință media valorilor, este considerată mai imprecisă, deci influențată de un anumit factor perturbator.

### 3.4.2. Analiza performanțelor privind detecția chipului uman

Rezultatele algoritmului de detecție a chipului uman au fost analizate din punct de vedere al preciziei de măsurare, calculată în raport cu valorile de referință și evoluția abaterii medii pătratice.

Evoluția indicatorilor de performanță, pe parcursul setului de măsurători, a fost analizată pentru a determina factorii ce au cea mai mare influență asupra localizării chipului uman. Tabelele 4.4 - 4.6 prezentate în continuare cuprind rezultatele măsurătorilor efectuate cu privire la detecția chipului, prin prelucrarea setului de secvențe video. Valorile parametrilor prezentați în cadrul acestor tabele sunt exprimate în pixeli.



**Tabelul 3.4 Rezultatele privind precizia de localizare a chipului uman prin analiza setului de secvențe video achiziționat cu iluminarea ambientală de 360 lx**

		[360 lx, 60 grade, 80 cm]				[360 lx, 60 grade, 120 cm]				[360 lx, 60 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	109.91	134.05	434.35	547.93	92.20	76.09	463.16	580.81	57.30	65.20	480.00	637.81
	DevStd	1.00	0.35	5.56	0.33	1.03	1.93	5.93	1.23	1.76	9.19	0.00	2.19
Referinta	Media	109.51	134.04	434.56	547.92	91.89	75.47	463.64	580.16	55.75	66.27	480.00	637.29
	DevStd	0.87	0.29	5.36	0.45	1.17	1.56	5.94	0.54	1.70	9.55	0.00	2.58
Precizia		99.63	100.00	99.95	100.00	99.66	99.19	99.90	99.89	97.28	98.38	100.00	99.92
		[360 lx, 90 grade, 80 cm]				[360 lx, 90 grade, 120 cm]				[360 lx, 90 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	126.74	126.74	405.83	512.84	95.09	117.43	425.71	572.80	49.65	30.32	469.80	625.05
	DevStd	0.61	2.22	0.72	3.24	5.90	2.94	3.44	4.13	1.00	6.09	0.87	2.64
Referinta	Media	126.63	126.23	406.16	512.08	95.42	117.08	425.99	572.40	50.01	31.10	470.34	624.16
	DevStd	0.61	2.41	0.52	3.92	6.65	2.82	0.77	4.10	1.15	6.96	0.67	2.77
Precizia		99.91	99.60	99.92	99.85	99.66	99.70	99.93	99.93	99.28	97.49	99.89	99.86
		[360 lx, 120 grade, 80 cm]				[360 lx, 120 grade, 120 cm]				[360 lx, 120 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	76.54	153.83	380.00	519.94	47.10	131.43	405.40	595.64	16.76	45.67	458.53	632.37
	DevStd	1.66	3.34	0.00	2.10	15.78	14.06	2.22	10.38	1.23	2.77	0.85	1.92
Referinta	Media	76.13	151.86	380.00	518.80	36.12	120.48	404.35	594.84	15.99	44.75	457.65	631.95
	DevStd	2.55	3.76	0.00	1.34	23.63	19.82	3.60	17.50	0.92	3.17	0.96	2.01
Precizia		99.47	98.72	100.00	99.78	76.70	91.67	99.74	99.86	95.43	97.97	99.81	99.93

\* Valorile parametrilor din tabel sunt exprimate în pixeli



**Tabelul 3.5 Rezultatele privind precizia de localizare a chipului uman prin analiza setului de secvențe video achiziționat cu iluminarea ambientală de 300 lx**

		[300 lx, 60 grade, 80 cm]				[300 lx, 60 grade, 120 cm]				[300 lx, 60 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	130.46	182.26	415.50	559.50	85.65	99.92	463.07	593.97	11.87	2.30	479.93	622.47
	DevStd	1.23	2.81	1.09	3.46	0.76	2.04	1.11	0.22	2.19	1.15	0.36	0.67
Referinta	Media	130.18	181.20	415.38	558.82	85.52	99.16	463.47	593.92	14.37	2.52	480.00	622.66
	DevStd	1.24	3.23	0.89	4.21	0.86	2.31	1.73	0.37	1.20	1.21	0.00	0.52
Precizia		99.78	99.42	99.97	99.88	99.84	99.24	99.91	99.99	82.61	91.54	99.99	99.97
		[300 lx, 90 grade, 80 cm]				[300 lx, 90 grade, 120 cm]				[300 lx, 90 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	93.19	169.08	367.05	555.81	96.61	110.91	403.69	565.26	65.51	0.08	480.00	609.29
	DevStd	5.54	5.66	3.65	3.47	11.69	13.82	3.92	5.02	1.14	1.34	0.00	1.27
Referinta	Media	93.64	167.66	367.70	555.64	97.29	111.54	403.34	564.44	65.60	0.11	480.00	609.09
	DevStd	5.81	8.19	3.63	3.65	12.02	13.10	5.97	4.89	0.99	1.05	0.00	1.24
Precizia		99.52	99.16	99.82	99.97	99.31	99.44	99.91	99.86	99.86	74.15	100.00	99.97
		[300 lx, 120 grade, 80 cm]				[300 lx, 120 grade, 120 cm]				[300 lx, 120 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	33.90	170.11	336.81	540.05	47.93	140.70	412.24	601.48	0.00	14.81	447.28	640.00
	DevStd	0.76	2.07	1.14	2.47	15.73	8.31	1.42	1.85	0.00	1.47	1.73	0.00
Referinta	Media	33.91	169.64	336.54	539.04	48.51	141.75	411.22	601.40	0.00	15.02	448.12	640.00
	DevStd	0.77	2.25	1.26	2.51	16.55	8.22	1.16	1.76	0.00	1.41	1.76	0.00
Precizia		99.96	99.72	99.92	99.81	98.82	99.26	99.75	99.99	0.00	98.57	99.81	100.00

\* Valorile parametrilor din tabel sunt exprimate în pixeli



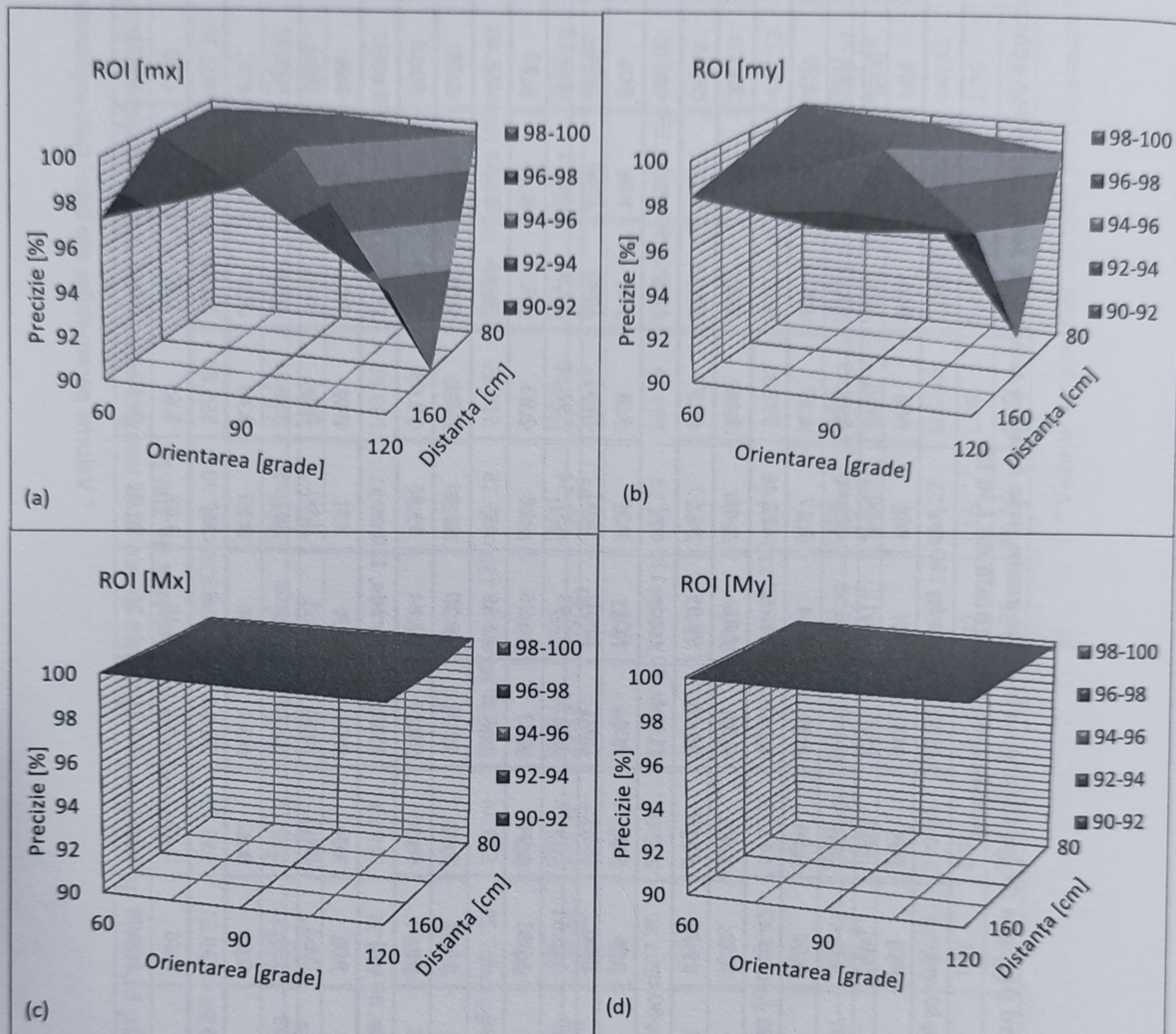
**Tabelul 3.6 Rezultatele privind precizia de localizare a chipului uman prin analiza setului de secvențe video achiziționat cu iluminarea ambientală de 130 lx**

		[130 lx, 60 grade, 80 cm]				[130 lx, 60 grade, 120 cm]				[130 lx, 60 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	127.76	164.97	435.47	543.90	84.59	146.58	421.40	594.35	61.12	49.54	469.71	608.76
	DevStd	1.21	4.37	2.66	0.64	1.37	2.14	2.17	1.87	1.47	2.06	2.32	1.36
Referinta	Media	126.62	164.81	434.42	543.75	85.42	146.56	423.46	592.81	62.29	48.86	471.79	608.76
	DevStd	1.06	4.09	3.11	0.53	0.93	1.86	1.45	1.19	1.35	2.06	2.10	1.00
Precizia		99.10	99.91	99.76	99.97	99.03	99.99	99.51	99.74	98.13	98.62	99.56	100.00
		[130 lx, 90 grade, 80 cm]				[130 lx, 90 grade, 120 cm]				[130 lx, 90 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	151.27	159.87	418.61	539.72	102.33	71.93	437.54	592.36	57.92	55.75	458.28	610.60
	DevStd	7.46	3.04	15.83	1.94	7.93	16.86	6.88	2.83	1.33	4.44	1.74	1.48
Referinta	Media	151.37	159.96	417.29	539.44	106.30	81.89	435.15	590.15	56.45	55.43	456.40	609.95
	DevStd	8.60	3.03	16.33	2.01	12.72	26.20	11.44	3.84	0.95	3.87	1.34	1.05
Precizia		99.93	99.95	99.68	99.95	96.27	87.84	99.46	99.63	97.47	99.43	99.59	99.89
		[130 lx, 120 grade, 80 cm]				[130 lx, 120 grade, 120 cm]				[130 lx, 120 grade, 160 cm]			
		ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]	ROI [mx]	ROI [my]	ROI [Mx]	ROI [My]
Algoritm	Media	103.19	162.43	399.51	539.73	93.19	169.08	367.05	555.81	19.30	73.50	471.33	633.61
	DevStd	1.51	2.90	0.61	0.82	5.54	5.66	3.65	3.47	2.09	2.16	1.31	1.10
Referinta	Media	103.34	162.51	399.51	539.79	93.64	167.66	367.70	555.64	20.56	72.75	472.38	633.57
	DevStd	1.41	2.79	0.66	0.69	5.81	8.19	3.63	3.65	1.77	2.11	0.80	1.35
Precizia		99.85	99.95	100.00	99.99	99.52	99.16	99.82	99.97	93.85	98.98	99.78	99.99

\* Valorile parametrilor din tabel sunt exprimate în pixeli



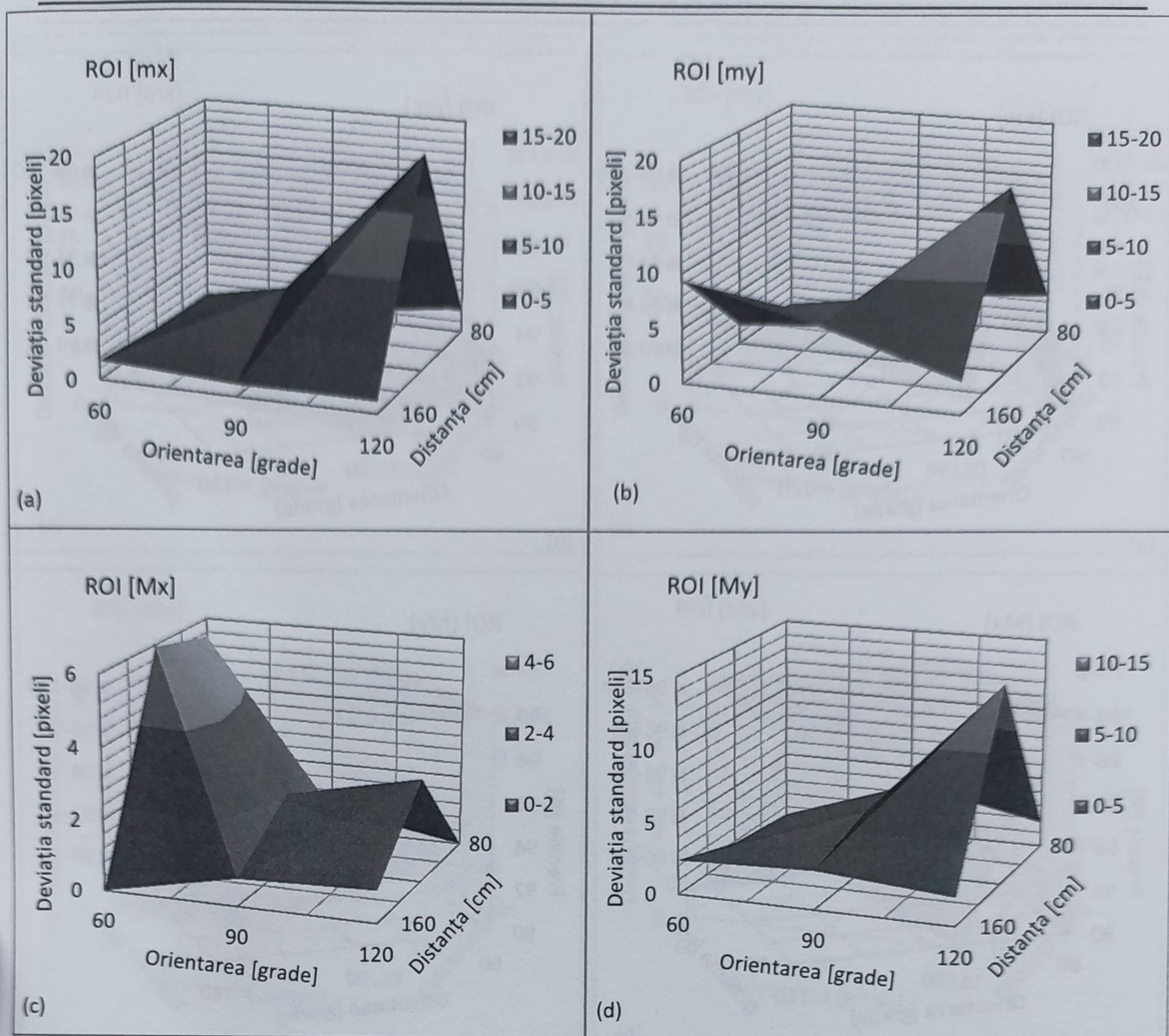
Tabelul 3.4 prezintă rezultatele privind localizarea chipului uman obținute prin prelucrarea secvențelor video corespunzătoare iluminării ambientale de 360 lx. Conform rezultatelor descrise în tabel, au fost studiate influențele distanței dintre subiect și camera video, precum și a orientării chipului asupra preciziei de detecție a chipului uman pentru iluminarea ambientală de 360 lx. Figura 3.23 prezintă precizia algoritmului raportată la referință, pentru cele patru coordonate ale regiunii de interes ROI, definite prin intermediul relației (3.30).



**Figura 3.23** Precizia de determinare a coordonatelor regiunii de interes ce descrie chipul uman pentru o iluminare de 360 lx, (a) stânga [mx], (b) dreapta [my], (c) sus [Mx], (d) jos [My]

Din figura 3.23 se poate observa că pentru aceeași iluminare de 360 lx, factorii care influențează cel mai mult precizia de localizare a ROI sunt distanța față de cameră de 120 cm și orientarea chipului uman la 120 grade. Valorile acestor doi parametri afectează precizia de determinare a coordonatelor  $m_x$ ,  $m_y$  ce încadrează regiunea chipului. Acest lucru este susținut și de valorile deviației standard calculate pentru acest caz și indicate în figura 3.24. Aceasta prezintă variația deviației standard a coordonatelor regiunii de interes, în funcție de orientarea chipului și distanța față de camera video. Din figura 3.24 se poate observa o deviație standard ridicată, corespunzătoare orientării de 120 grade și distanței de 120 cm.

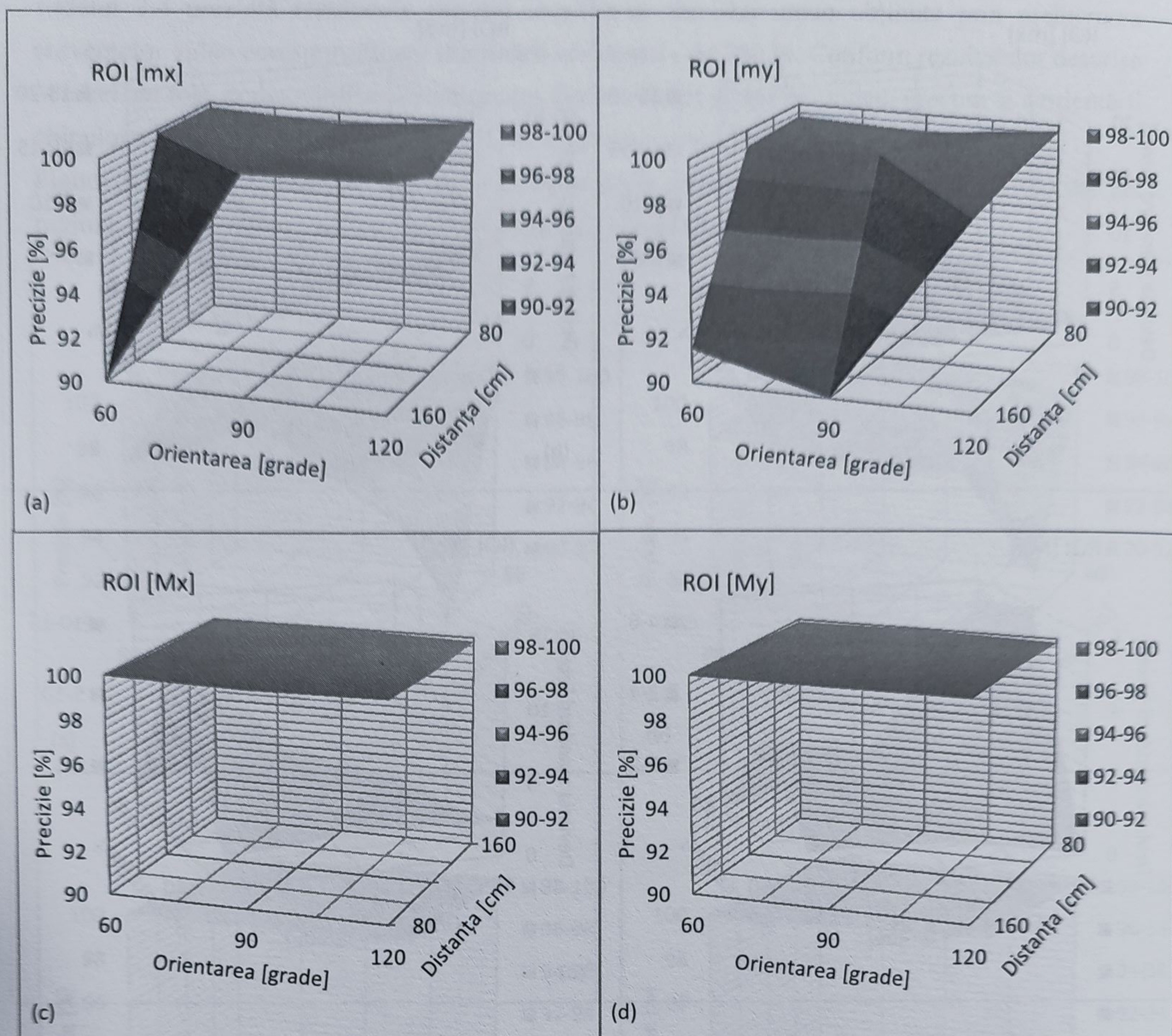




**Figura 3.24** Deviația standard a coordonatelor regiunii de interes ce descrie chipul uman relativ la valoarea medie măsurată de algoritm pentru o iluminare de 360 lx, (a) stânga [mx], (b) dreapta [my], (c) sus [Mx], (d) jos [My]

Valorile ridicate ale deviației standard cumulate cu scăderea preciziei, conduc la afirmația că în cazul iluminării de 360 lx, factorii ce determină reducerea performanțelor algoritmului sunt poziționarea la 120 cm și înclinarea chipului cu 120 grade. Aceștia reduc precizia determinării coordonatelor regiunii de interes ROI astfel:  $m_x$  la 76.69 %, respectiv  $m_y$  la 91.67 %. Tabelul 3.5 prezintă rezultatele privind localizarea chipului uman, obținute prin prelucrarea secvențelor video corespunzătoare iluminării ambientale de 300 lx. Conform rezultatelor descrise în tabel sunt studiate influențele distanței dintre subiect și camera video, precum și a orientării chipului asupra preciziei de detecție a chipului uman pentru iluminarea ambientală de 300 lx. Figura 3.25 prezintă precizia algoritmului raportată la referință pentru cele patru coordonate ale regiunii de interes ROI, determinate prin analiza secvențelor video achiziționate pentru iluminarea de 300 lx. Din figura 3.25 se poate observa că pentru aceeași iluminare de 300 lx, factorii care influențează cel mai mult precizia de localizare a ROI sunt distanța față de cameră de 160 cm și

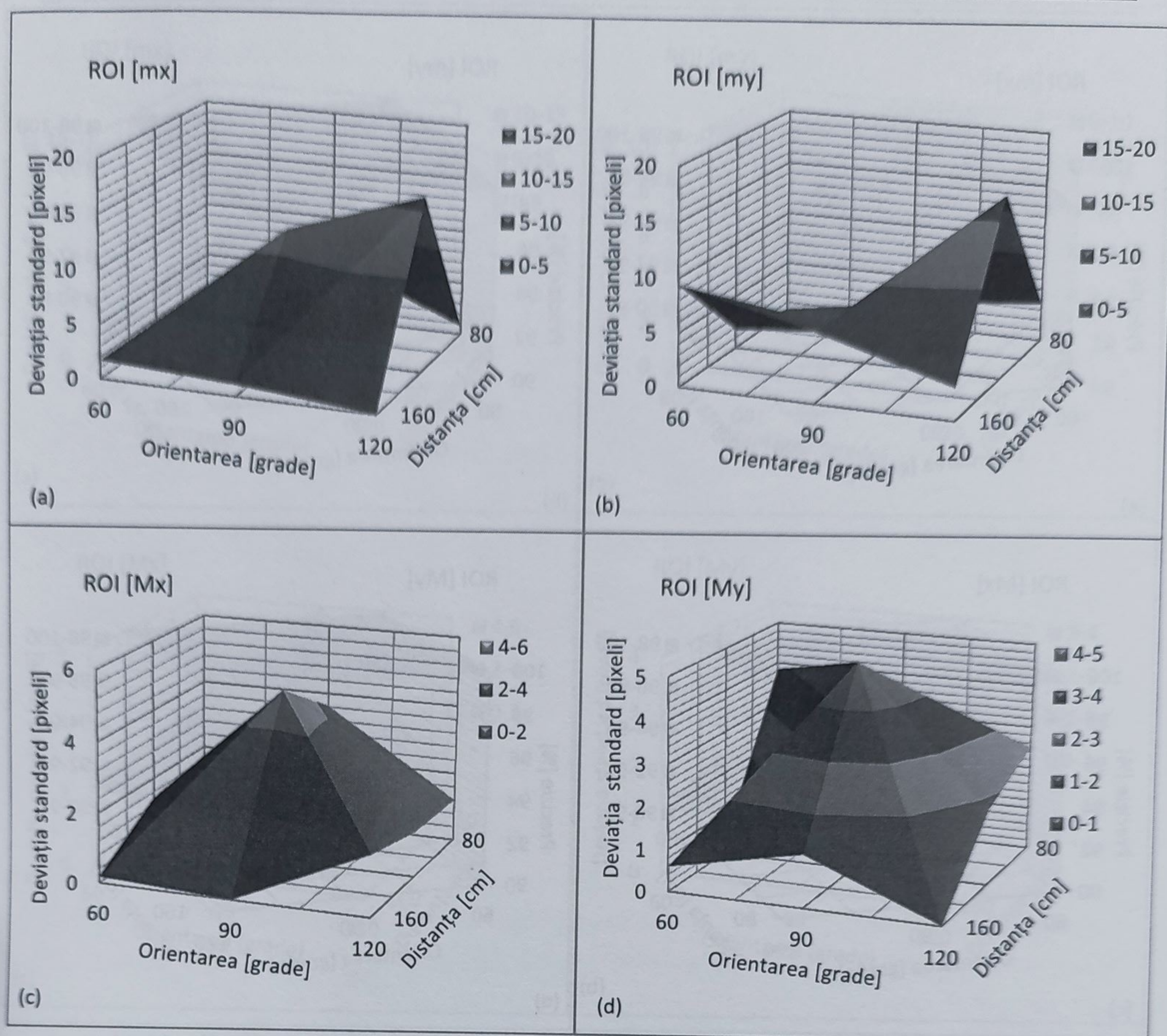




**Figura 3.25** Precizia de determinare a coordonatelor regiunii de interes ce descrie chipul uman pentru o iluminare de 300 lx, (a) stânga [mx], (b) dreapta [my], (c) sus [Mx], (d) jos [My] orientarea chipului uman la 60, 90 de grade.

Valorile acestor doi parametri afectează precizia de determinare a coordonatelor  $m_x$ ,  $m_y$  ce încadrează regiunea chipului. Acest lucru este susținut și de valorile deviației standard calculate pentru acest caz și indicate în figura 3.26. Aceasta prezintă variația deviației standard a coordonatelor regiunii de interes, în funcție de orientarea chipului și distanța față de camera video. Din figura 3.26 se poate observa o deviație standard ridicată, corespunzătoare orientării de 120 grade și distanței de 120 cm, precum și în cazul distanței de 160 cm și orientării de 60 de grade. Aceasta prezintă deviația standard a coordonatelor regiunii de interes, în funcție de orientarea chipului și distanța față de camera video. Valorile ridicate ale deviației standard cumulate cu scăderea preciziei, conduc la afirmația că în cazul iluminării de 300 lx, factorii ce determină reducerea performanțelor algoritmului sunt poziționarea la 160 cm și înclinarea chipului cu 60 de grade. Aceștia reduc precizia determinării coordonatelor regiunii de interes ROI astfel:  $m_x$  la 82.61 %, respectiv  $m_y$  la 91.54 %.

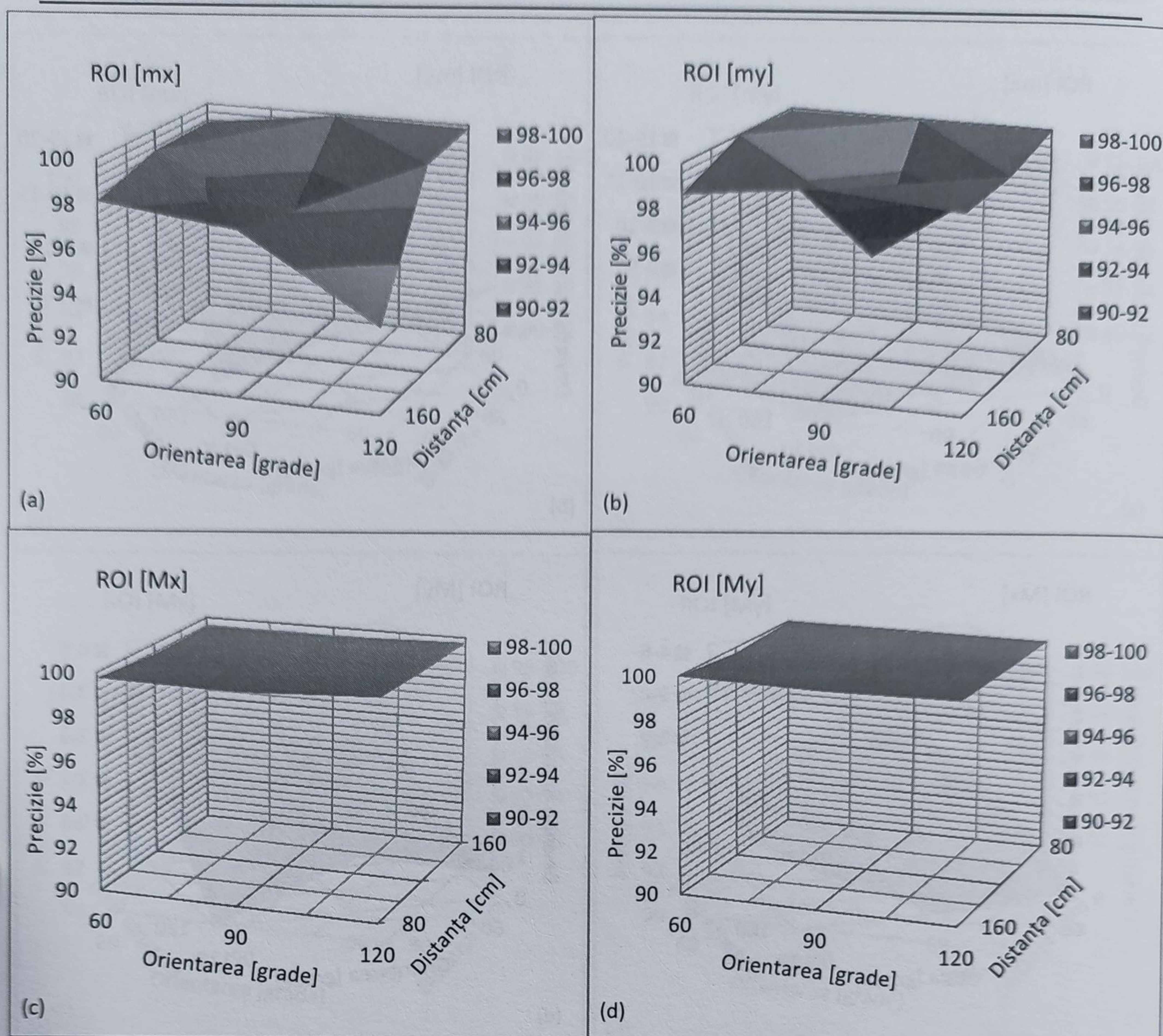




**Figura 3.26** Deviația standard a coordonatelor regiunii de interes ce descrie chipul uman relativ la valoarea medie măsurată de algoritm pentru o iluminare de 300 lx, (a) stânga [mx], (b) dreapta [my], (c) sus [Mx], (d) jos [My]

Tabelul 3.6 prezintă rezultatele privind localizarea chipului uman obținute prin prelucrarea secvențelor video corespunzătoare iluminării ambientale de 130 lx. Conform rezultatelor descrise în tabel, au fost studiate influențele distanței dintre subiect și camera video, precum și a orientării chipului asupra preciziei de detecție a chipului uman pentru iluminarea ambientală de 130 lx. Figura 3.27 prezintă precizia algoritmului raportată la referință pentru cele patru coordonate ale regiunii de interes ROI, determinate prin analiza secvențelor video achiziționate pentru iluminarea de 130 lx. Din figura 3.27 se poate observa că pentru aceeași iluminare de 130 lx, factorii care influențează cel mai mult precizia de localizare a ROI sunt distanța față de cameră de 120 cm și orientarea chipului uman la 90 de grade. Valorile acestor parametri afectează precizia de determinare a coordonatelor  $m_x$ ,  $m_y$  ce încadrează regiunea chipului. Acest lucru este susținut și de valorile deviației standard calculate pentru acest caz și indicate în figura 3.28. Aceasta prezintă variația deviației standard a coordonatelor regiunii de interes, în funcție de orientarea chipului și distanța față de camera video.

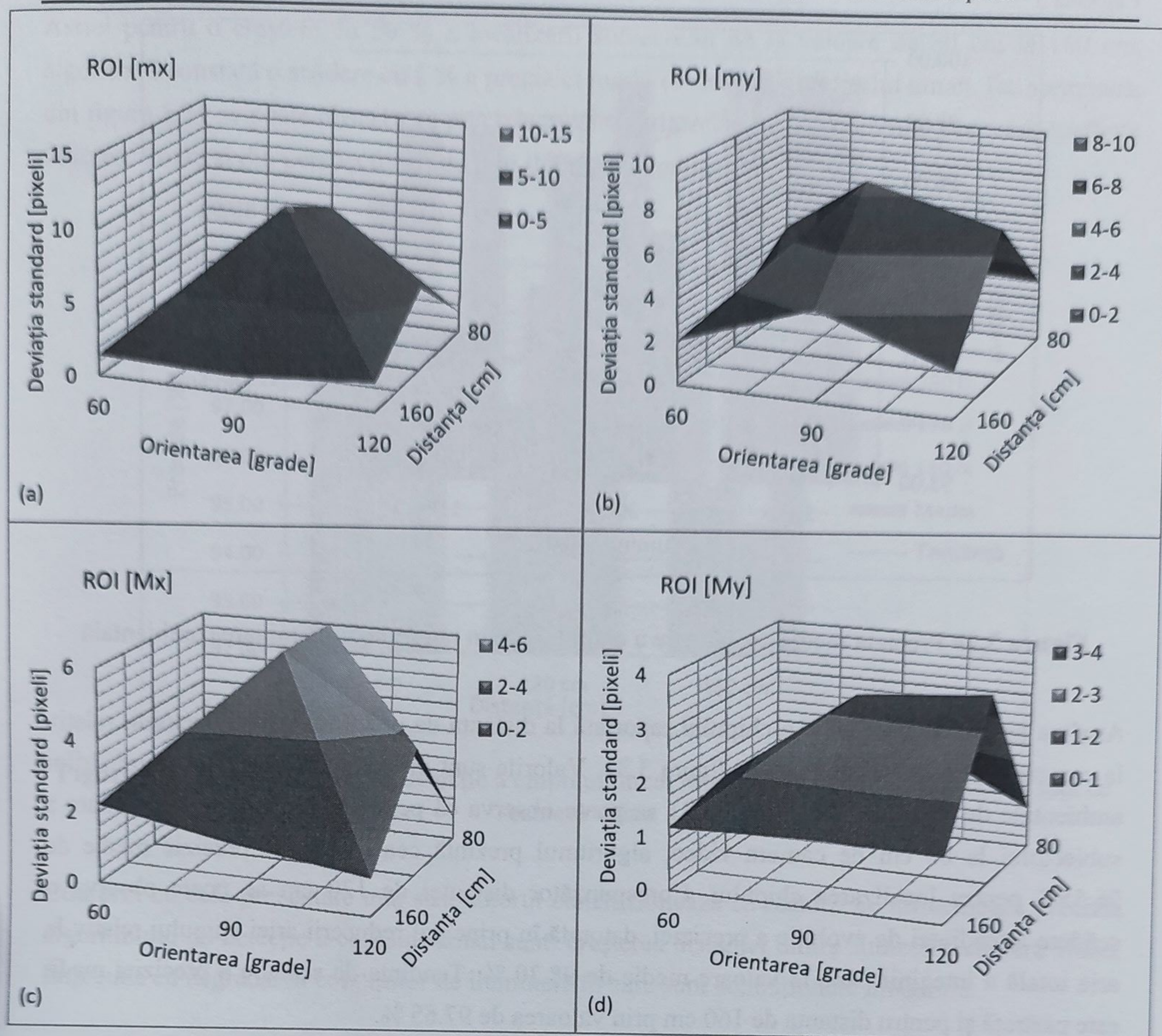




**Figura 3.27** Precizia de determinare a coordonatelor regiunii de interes ce descrie chipul uman pentru o iluminare de 130 lx, (a) stânga [mx], (b) dreapta [my], (c) sus [Mx], (d) jos [My]

Din figura 3.28 se poate observa o deviație standard ridicată corespunzătoare orientării de 90 grade și distanței de 120 cm, precum și în cazul distanței de 160 cm și orientării de 120 de grade. Aceasta prezintă deviația standard a coordonatelor regiunii de interes în funcție de orientarea chipului și distanța față de camera video. Valorile ridicate ale deviației standard, cumulate cu scăderea preciziei, conduc la afirmația că în cazul iluminării de 130 lx, factorii ce determină reducerea performanțelor algoritmului sunt poziționarea la 120 cm și orientarea chipului la 90 de grade. Aceștia reduc precizia determinării coordonatelor regiunii de interes ROI astfel:  $m_x$  la 96.27 %, respectiv  $m_y$  la 94.83 %. Pentru a extrage o concluzie finală asupra factorilor ce influențează precizia de detecție a chipului uman, autorul realizează o comparație a preciziei medii corespunzătoare celor trei condiții analizate. Figura 3.29 prezintă precizia de detecție a chipului uman în raport cu iluminarea ambientală. Valorile sunt grupate corespunzător distanțelor la care este poziționat subiectul uman. Din figura 3.29 se poate observa că pentru o distanță de 80 cm și iluminare de 360 lx, algoritmul prezintă cea mai bună precizie medie de 99.77 %.

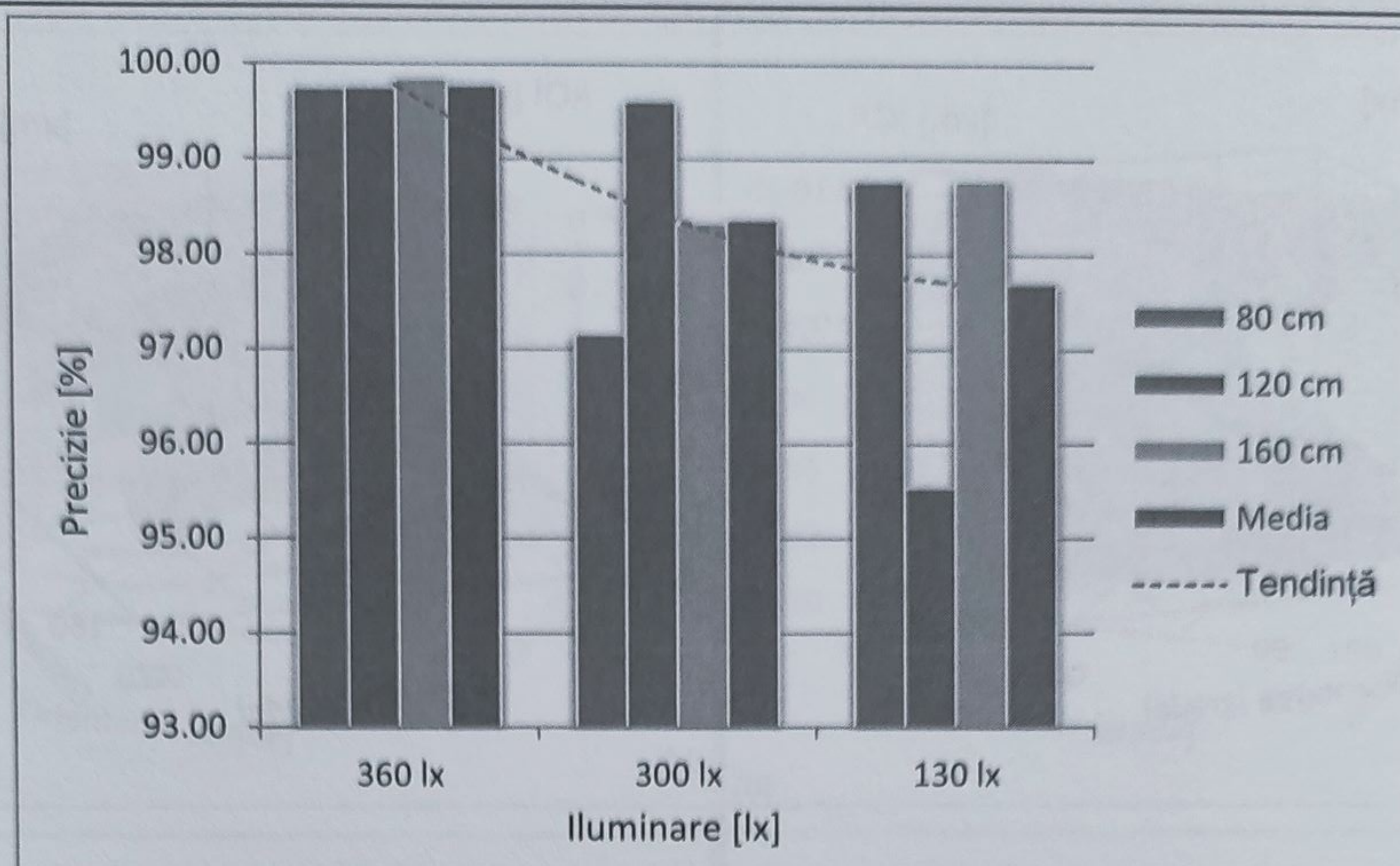




**Figura 3.28** Deviația standard a coordonatelor regiunii de interes ce descrie chipul uman relativ la valoarea medie măsurată de algoritm pentru o iluminare de 130 lx, (a) stânga [mx], (b) dreapta [my], (c) sus [Mx], (d) jos [My]

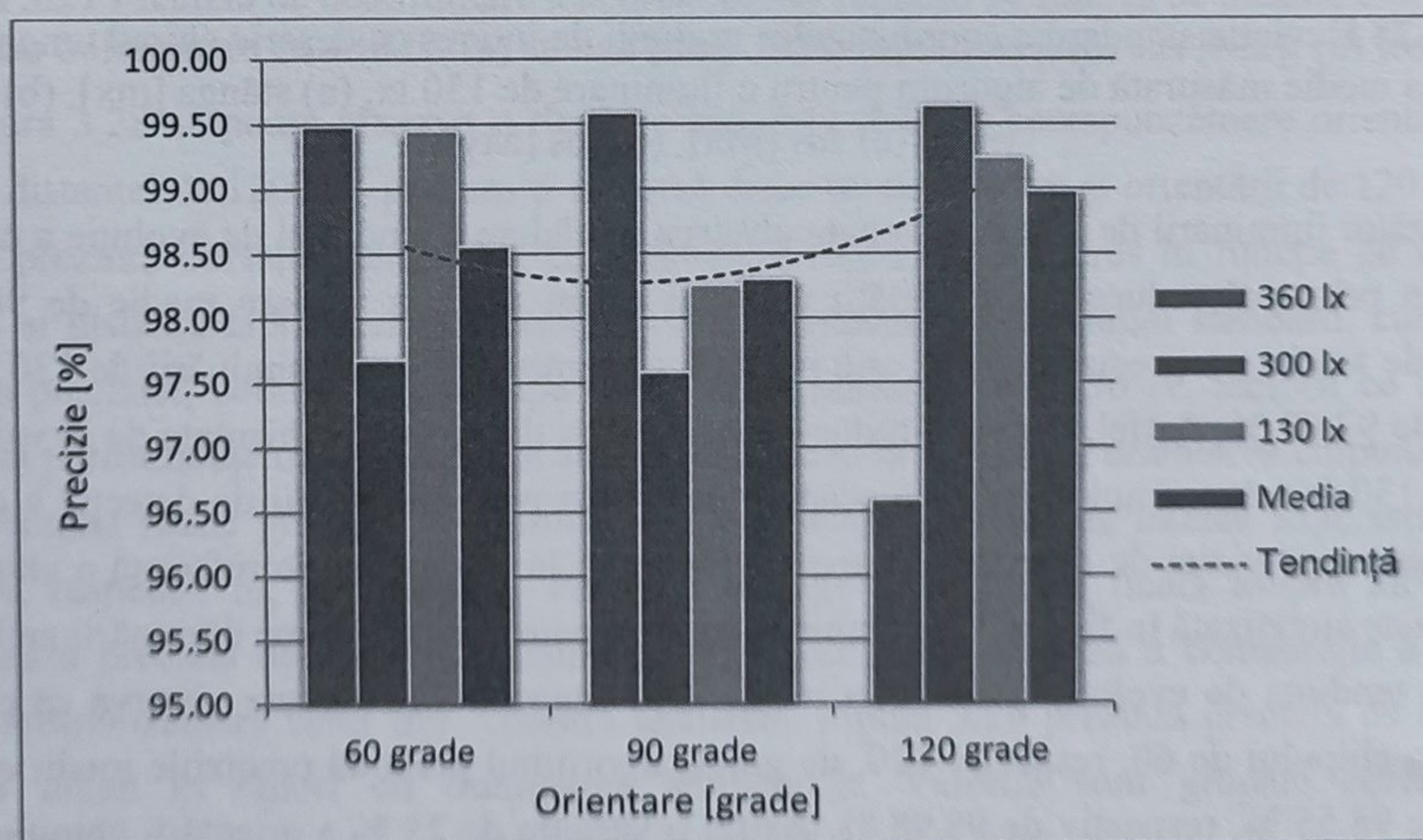
Corespunzător iluminării de 300 lx, se poate observa o scădere a tendinței de evoluție a preciziei, datorată în principal reducerii vizibilității chipului uman până la valoare medie de 98.36 %. Tendința de scădere a preciziei medii este păstrată și pentru valoarea iluminării de 130 lx, prin valoarea de 97.69 %. Astfel, pentru o reducere cu 74 % a iluminării ambientale de la valoare de 360 lx la 130 lx, algoritmul constată o scădere cu 3 % a preciziei medii de detecție a chipului uman. Analiza preciziei de detecție a chipului, raportată la orientarea de referință a chipului în imagine, este sintetizată în figura 3.29. Valorile sunt grupate corespunzător iluminării ambientale și descriu tendința de evoluție a preciziei medii. Din figura 3.30 se poate observa că pentru o orientare a chipului de 60, respectiv 120, de grade algoritmul prezintă preciziile medii cele mai ridicate de 98.55 %, respectiv de 98.98 %. Astfel o variație de 25 % a orientării chipului uman conduce la o scădere cu 2 % a preciziei medii de detecție.





**Figura 3.29** Precizia medie de detecție a chipului uman raportată la iluminarea ambientală

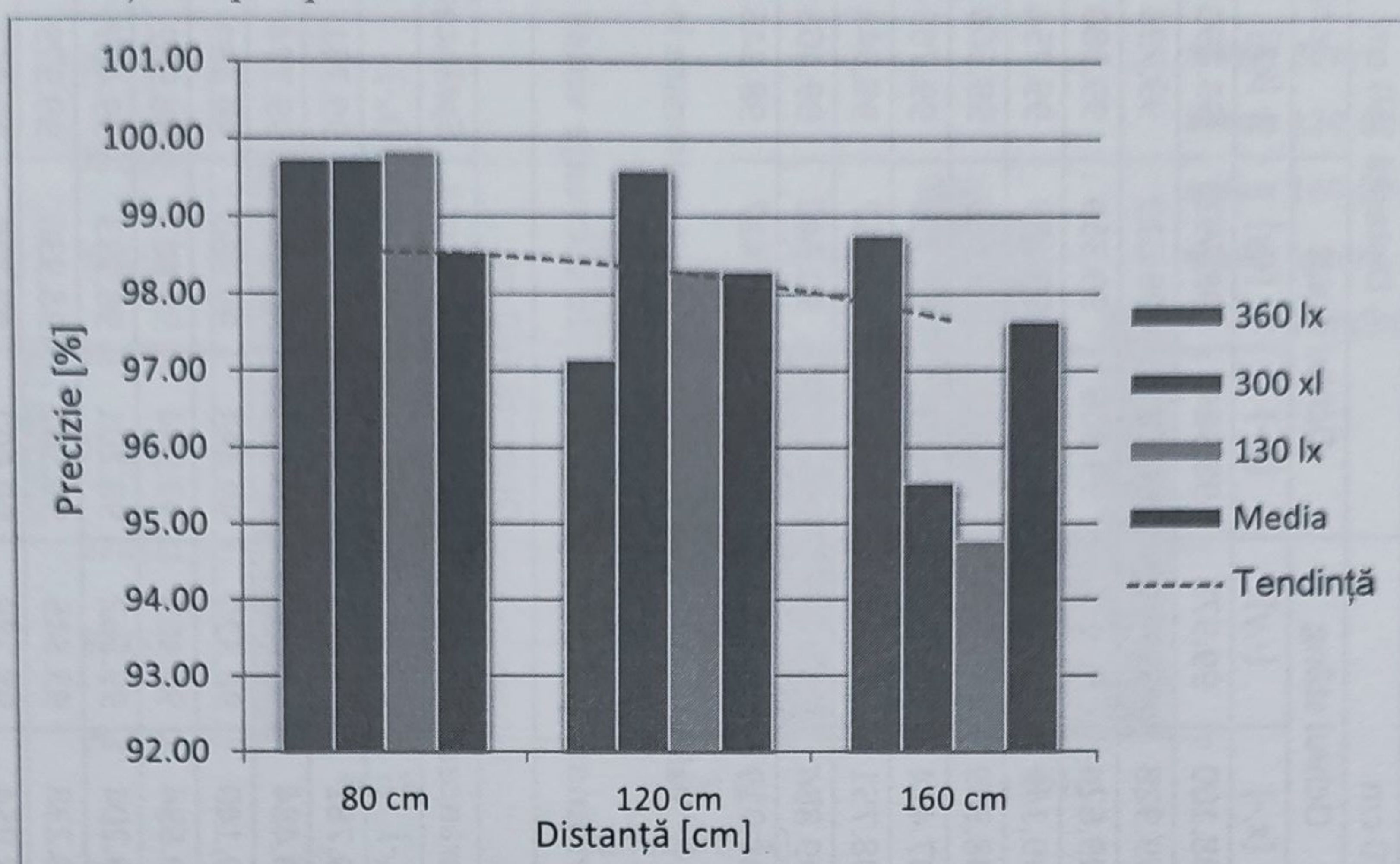
Analiza preciziei de detecție a chipului raportată la distanța de poziționare a subiectului, relativ la camera video este sintetizată în figura 3.31. Valorile sunt grupate corespunzător iluminărilor ambientale de referință. Din figura 3.31 se poate observa că pentru o distanță de poziționare a subiectului la 80 cm de camera video, algoritmul prezintă cea mai bună precizie medie de 98.55% pentru localizarea chipului. Corespunzător distanței de 120 cm se poate observa o scădere a tendinței de evoluție a preciziei, datorată în principal reducerii ariei chipului relativ la aria totală a imaginii până la valoare medie de 98.30 %. Tendința de scădere a preciziei medii este păstrată și pentru distanța de 160 cm prin valoarea de 97.65 %.



**Figura 3.30** Precizia medie de detecție a chipului uman raportată la orientarea chipului



Astfel pentru o creștere cu 50 % a localizării subiectului de la valoare de 80 cm la 160 cm, algoritmul constată o scădere cu 2 % a preciziei medii de detecție a chipului uman. De asemenea, din figura 3.31 se poate observa că precizia medie de detecție a chipului uman păstrează tendința descrescătoare și din perspectiva reducerii iluminării ambientale.



**Figura 3.31** Precizia medie de detecție a chipului uman raportată la distanța subiectului față de camera video

Conform cu cele prezentate mai sus, autorul concluzionează că factorii ce influențează precizia algoritmului de detecție a chipului uman sunt: creșterea distanței dintre subiect și camera video, împreună cu degradarea condițiilor de iluminare în care sunt achiziționate imaginile.

### 3.4.3. Analiza performanțelor privind detecția trăsăturilor faciale

Rezultatele algoritmului de detecție a trăsăturilor faciale au fost analizate din punct de vedere al determinării preciziei de măsurare, calculată în raport cu valorile de referință. Trăsăturile faciale detectate de către algoritm sunt constituite de poziția ochilor și sprâncenelor în imaginea analizată. Evoluția indicatorilor pe parcursul setului de măsurători a fost analizată pentru a determina factorii ce au cea mai mare influență asupra localizării trăsăturilor faciale în imagine. Tabelul 3.7 prezintă rezultatele privind detecția ochilor obținute prin procesarea setului de secvențe video. Valorile parametrilor prezentați în cadrul tabelului sunt exprimate în pixeli. Datele prezentate în acest tabel au fost analizate pentru a studia influența factorilor: distanța, iluminarea și orientarea chipului asupra preciziei algoritmului. Figura 3.32 prezintă precizia medie de detecție a ochilor, raportată la iluminarea ambientală specifică. Din figura 3.32 se poate observa că pentru o iluminare de 360 lx algoritmul prezintă precizia medie cea mai ridicată de 98.7 %. De asemenea, se poate constata că pentru iluminările de 300 lx, 130 lx algoritmul are preciziile de 98.54 % și 98,58 %.



Tabelul 3.7 Rezultatele privind localizarea ochilor subiectului determinate prin analiza setului de secvențe video

		Distanță 80 cm				Distanță 120 cm				Distanță 160 cm			
		Ochiul drept		Ochiul stâng		Ochiul drept		Ochiul stâng		Ochiul drept		Ochiul stâng	
Iluminare	Orientare	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]
360 lx	60 grade	99.582	99.925	99.936	99.647	99.639	99.094	98.100	99.978	98.984	98.591	99.890	99.413
	90 grade	97.946	99.460	99.609	99.989	99.437	97.301	99.928	99.483	99.659	99.619	99.793	99.181
	120 grade	99.755	99.867	99.452	99.628	99.692	98.468	99.624	99.156	99.806	99.359	99.080	99.846
300 lx	60 grade	99.599	98.992	99.435	98.131	99.859	99.143	99.149	99.747	98.518	98.689	99.754	99.631
	90 grade	99.998	98.140	97.769	95.341	99.744	95.807	98.389	98.968	98.997	99.653	99.669	99.947
	120 grade	98.222	99.065	99.293	99.258	98.060	95.606	97.424	98.282	99.065	97.716	99.765	99.766
130 lx	60 grade	99.552	95.367	98.791	97.539	98.401	97.422	98.751	99.330	99.068	98.957	99.043	99.435
	90 grade	96.786	98.797	99.595	98.333	98.972	99.984	99.884	98.895	99.869	90.840	99.403	90.664
	120 grade	97.760	98.831	99.103	95.011	97.583	98.964	98.019	91.232	98.984	97.417	98.845	98.589

\* Valorile parametrilor din tabel sunt exprimate în procente

Tabelul 3.8 Rezultatele privind localizarea sprâncenelor subiectului determinate prin analiza setului de secvențe video

		Distanță 80 cm				Distanță 120 cm				Distanță 160 cm			
		Sprânceana dreaptă		Sprânceana stângă		Sprânceana dreaptă		Sprânceana stângă		Sprânceana dreaptă		Sprânceana stângă	
Iluminare	Orientare	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]	[x,-]	[-,y]
360 lx	60 grade	99.960	99.796	99.461	99.618	99.108	99.127	99.781	99.672	99.614	98.434	99.761	98.981
	90 grade	97.554	99.223	99.184	98.849	98.345	98.618	99.484	98.295	99.646	99.484	99.774	98.745
	120 grade	98.844	99.608	99.828	99.315	99.700	99.804	99.140	96.820	99.493	99.860	99.489	99.609
300 lx	60 grade	98.804	97.822	99.043	98.661	96.724	99.395	99.694	96.405	97.954	99.847	98.982	98.973
	90 grade	99.565	97.360	99.681	95.942	97.374	98.522	99.204	99.562	98.201	98.933	99.497	99.604
	120 grade	97.447	99.649	98.669	93.930	93.639	98.556	98.238	93.845	99.341	98.938	99.979	99.761
130 lx	60 grade	98.410	99.327	98.837	99.493	97.198	98.528	98.954	98.285	99.992	97.738	98.867	97.999
	90 grade	99.247	99.823	99.663	99.749	99.885	98.597	98.783	99.606	99.658	92.459	99.950	97.307
	120 grade	95.721	95.627	97.714	96.378	98.291	97.645	99.664	96.691	99.160	98.606	99.177	98.100



Autorul constată că diminuarea iluminării nu afectează în mod semnificativ precizia algoritmului, deoarece o scădere cu 74 % a iluminării conduce la scăderea cu 0.2% a preciziei. Se poate observa că algoritmul prezintă precizia cea mai ridicată la o poziționare a subiectului la distanța de 80 cm relativ de camera video.

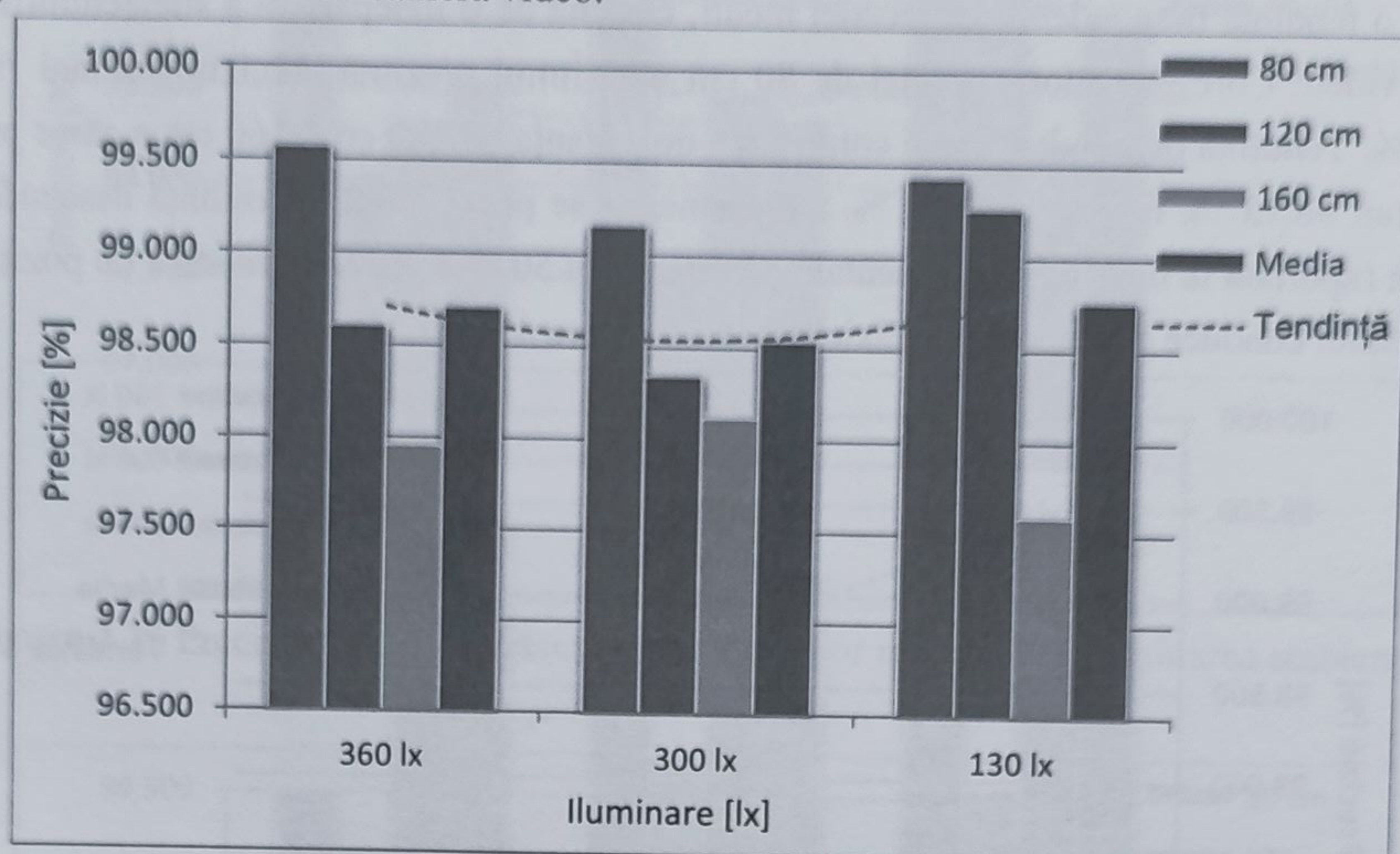


Figura 3.32 Precizia medie de detecție a ochilor raportată la iluminarea ambientală

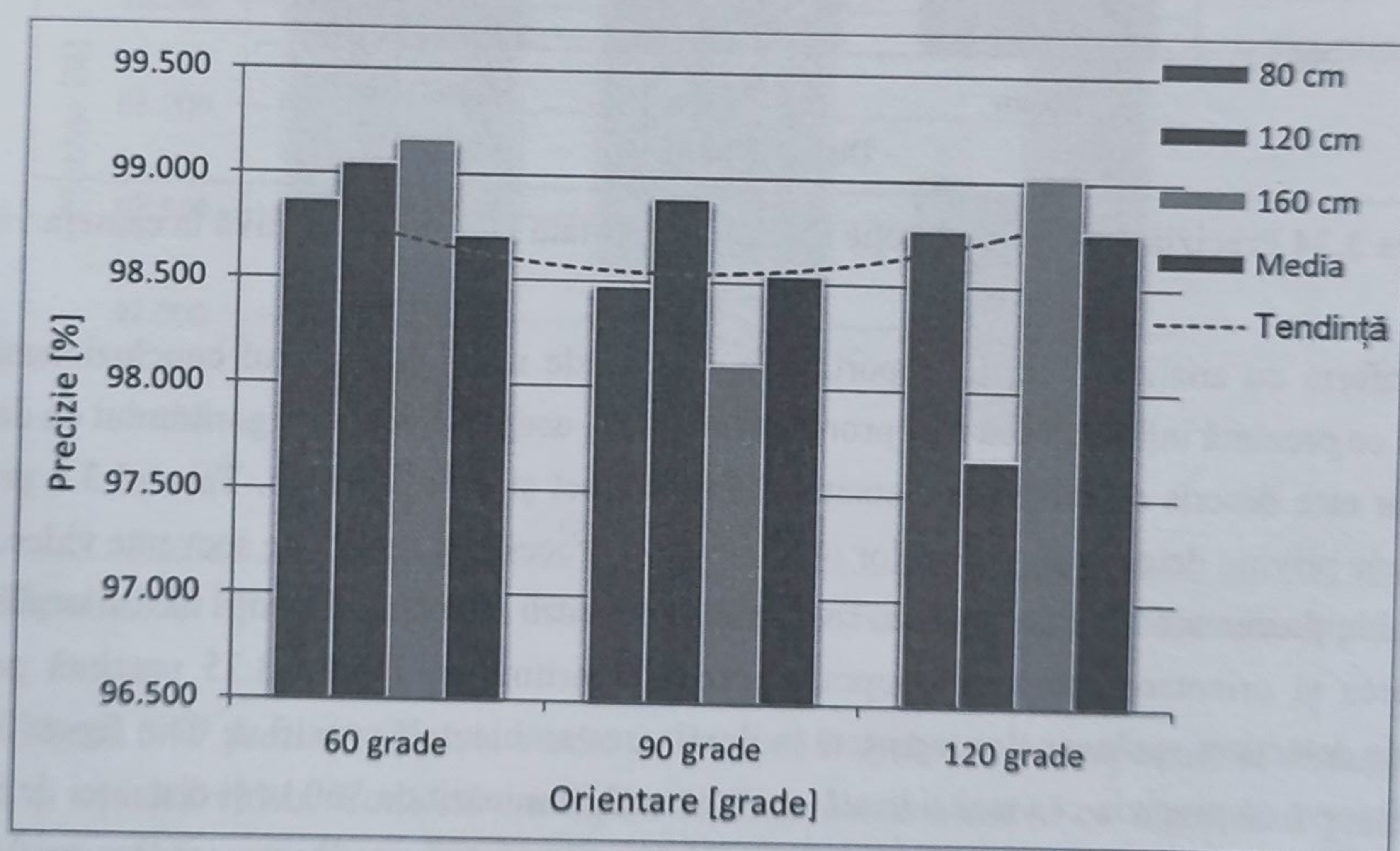
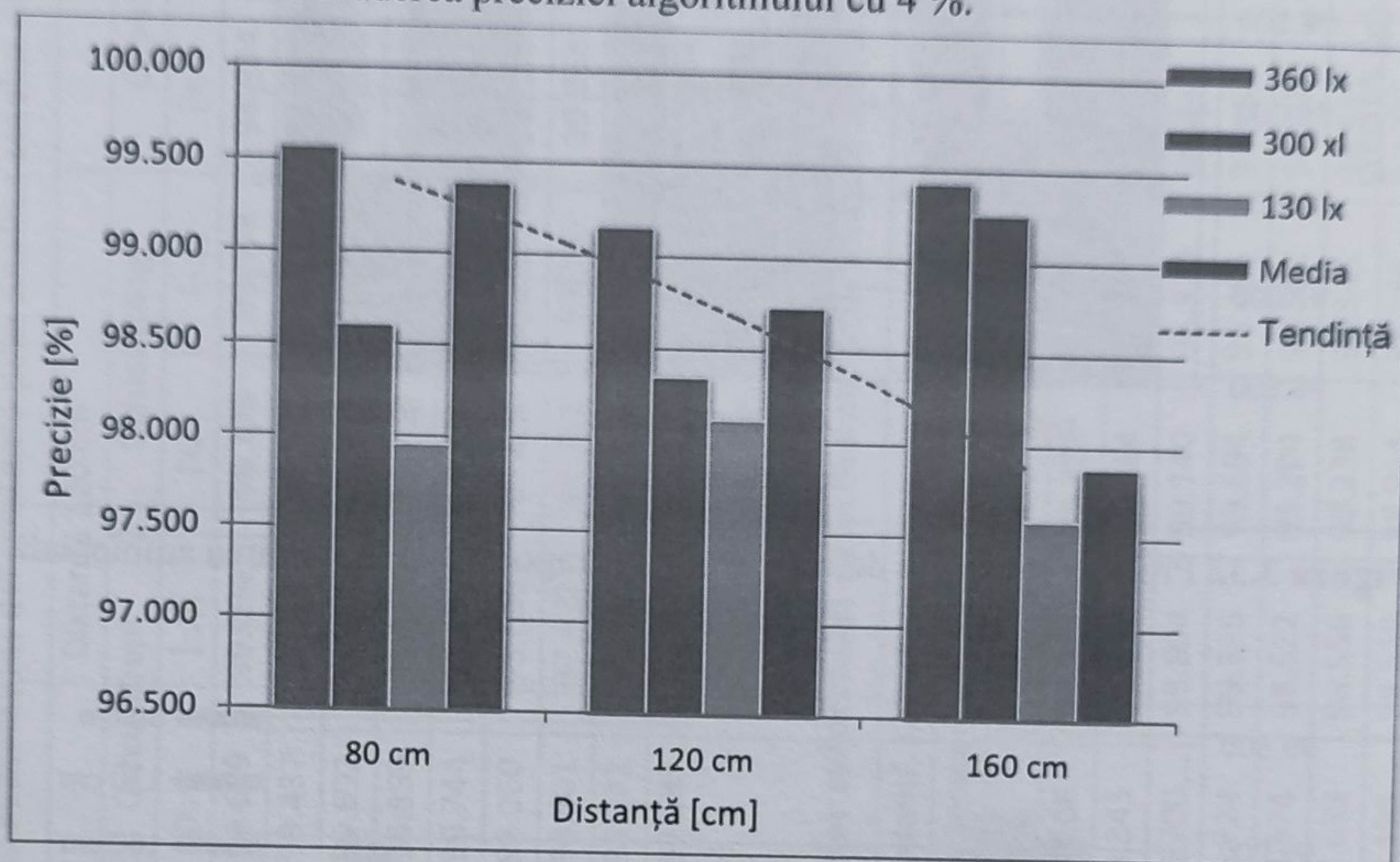


Figura 3.33 Precizia medie de detecție a ochilor raportată la orientarea chipului

Figura 3.33 prezintă precizia medie de detecție a ochilor raportată la orientarea chipului uman. Conform acesteia se poate observa că orientarea chipului uman nu influențează precizia de detecție a ochilor din imagine. Se poate constata o scădere a preciziei la 98.54%, aceasta raportată la valoarea maximă de 98.77 % constă în diminuarea preciziei cu 0.3 % în cazul orientării verticale a chipului uman. Autorul constată că orientarea chipului nu afectează în mod



semnificativ precizia algoritmului, deoarece o variație cu 25 % a orientării conduce la scăderea cu 0.3% a preciziei. Figura 3.34 prezintă evoluția preciziei medii de detecție a chipului uman raportată la localizarea subiectului uman în raport cu camera video. Din figura 3.34 se poate observa o tendință descendentă a preciziei medii, cauzată de o îndepărtare a subiectului față de camera video. Corespunzător distanței de 80 cm algoritmul prezintă precizia cea mai ridicată 99.387 %. Tendința descendentă este confirmată de distanța de 120 cm, 160 cm a căror precizii medii sunt 98.73 %, respectiv 97.88 %. De asemenea se poate observa tendința descendentă a preciziei raportată la iluminarea ambientală. Creșterea cu 50 % a distanței relative de poziționare a subiectului conduce la scăderea preciziei algoritmului cu 4 %.



**Figura 3.34** Precizia medie de detecție a ochilor raportată la distanța relativă la camera video

Conform cu analiza preciziei raportată la factorii de referință, autorul concluzionează, că factorul ce prezintă influența cea mai pronunțată de 4 %, asupra preciziei algoritmului de detecție a ochilor este descris de creșterea distanței dintre subiect și camera video. Tabelul 3.8 prezintă rezultatele privind detecția sprâncenelor obținute prin procesarea setului de secvențe video.

Datele prezentate în acest tabel au fost analizate pentru a studia influența factorilor distanța, iluminarea și orientarea chipului asupra preciziei algoritmului. Figura 3.35 prezintă precizia medie de detecție a sprâncenelor raportată la iluminarea ambientală specifică. Din figura 3.35 se poate observa că precizia cea mai ridicată este aferentă iluminării de 360 lx și distanței de 80 cm, cu valoarea medie de 99.27 %. Creșterea cu 74 % a iluminării produce o scădere cu 0.3 % a preciziei de detecție. De asemenea, se poate observa tendința descrescătoare a preciziei raportată la distanță. În continuare este analizată tendința preciziei raportată la orientarea chipului uman. Figura 3.36 prezintă evoluția preciziei de detecție a sprâncenelor raportată la orientarea chipului uman. Conform acesteia se poate observa că variația cu 25 % a orientării chipului conduce la reducerea cu 0.7 % a preciziei de detecție. Deoarece influența asupra preciziei nu este semnificativă, se constată că orientarea chipului nu afectează precizia de detecție a sprâncenelor.



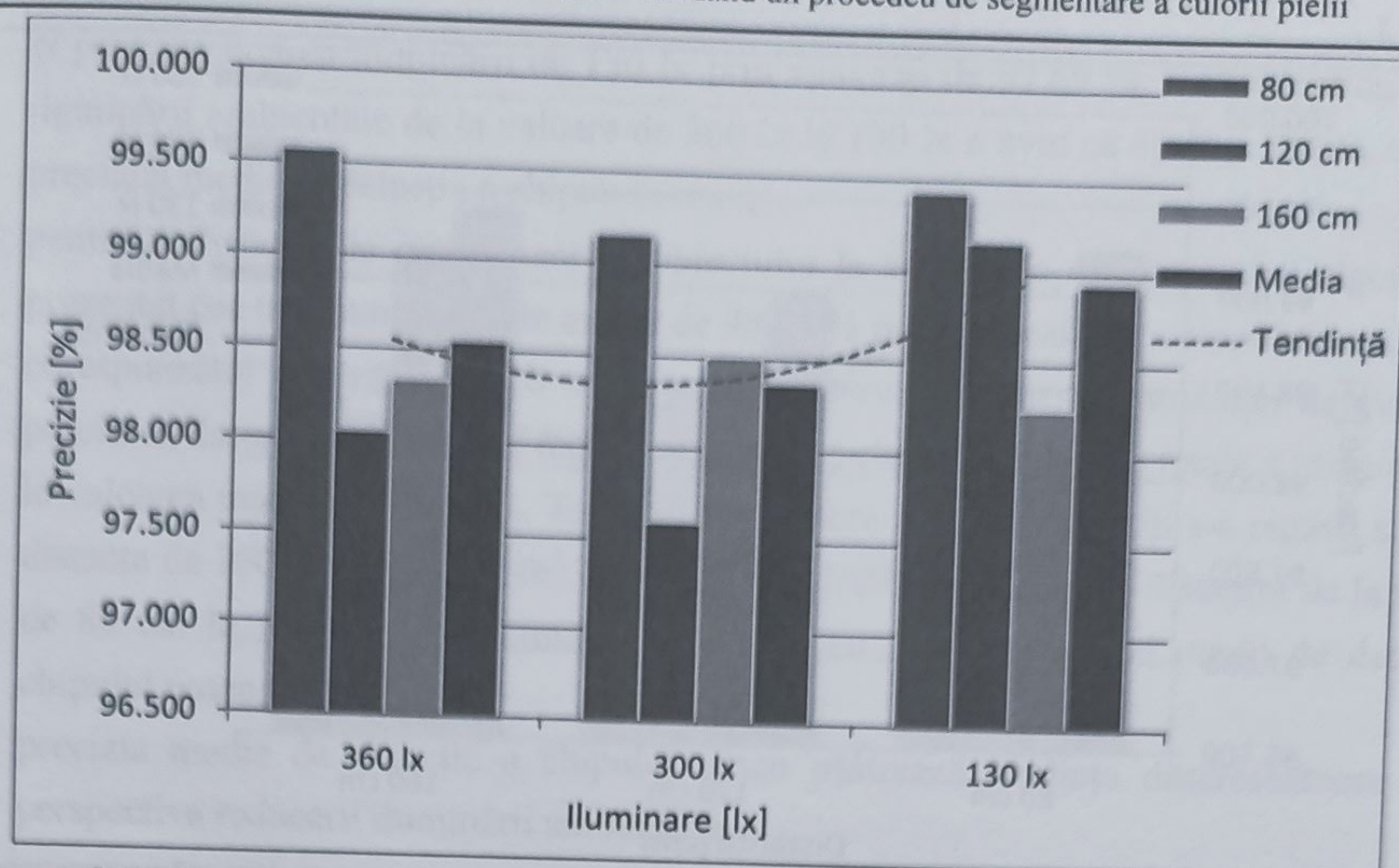


Figura 3.35 Precizia medie de detectie a sprancenelor raportata la iluminarea ambientală

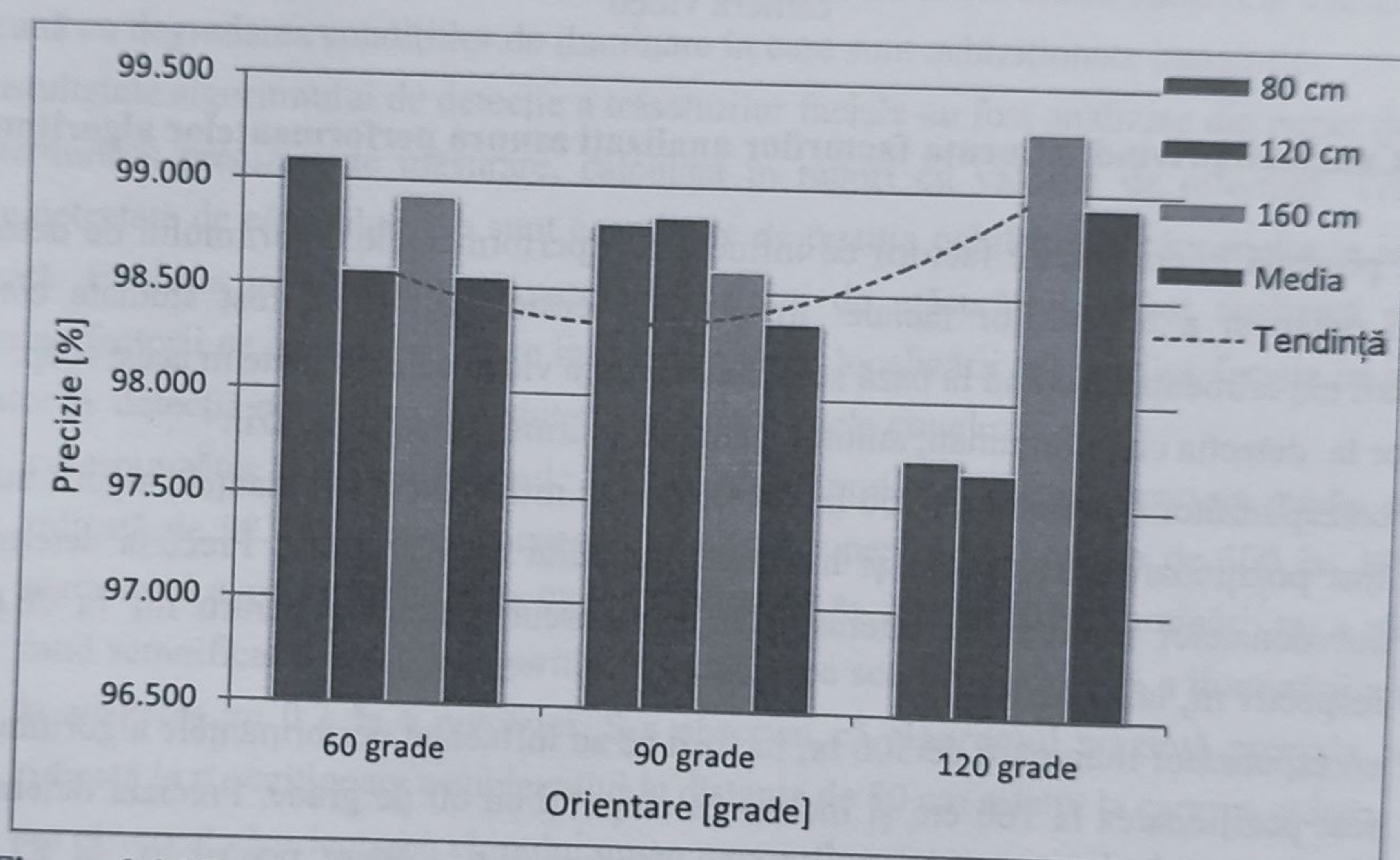
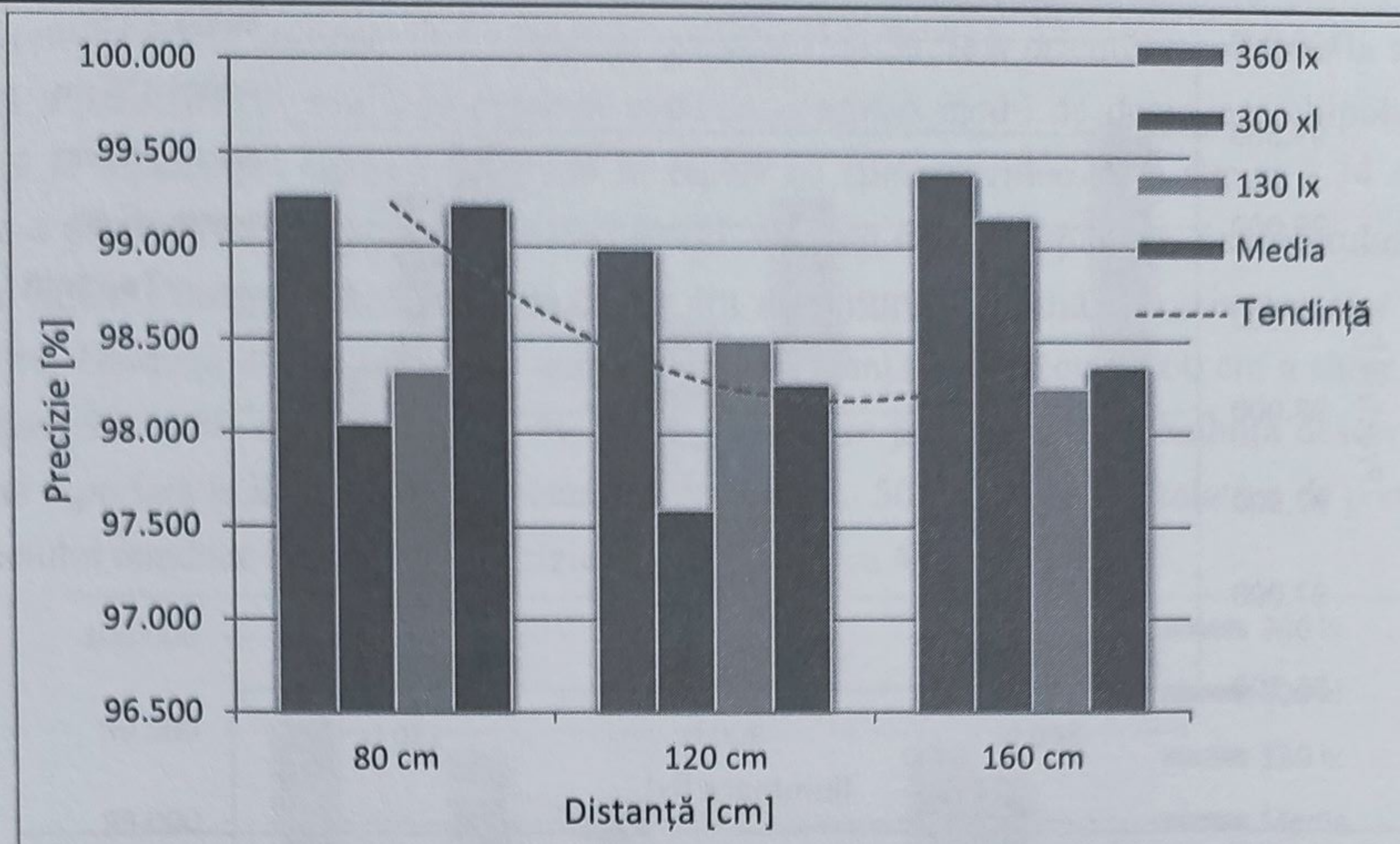


Figura 3.36 Precizia medie de detectie a sprancenelor raportata la orientarea chipului

Figura 3.37 prezinta precizia medie de detectie a sprancenelor raportata la distanta dintre subiect si camera video. Conform cu figura 3.37 se poate observa ca algoritmul prezinta un maxim de performanta aferent distantei de 80 cm dintre subiect si camera video. De asemenea, se poate observa tendinta descendenta a preciziei, cauzata de marirea distantei dintre subiect si camera. Cresterea cu 50 % a distantei dintre subiect si camera video are ca efect scaderea performantei algoritmului si cu 2 % a preciziei de detectie. In concordanta cu analiza prezentata, autorul concluzioneaza, ca factorul ce prezinta influenta cea mai pronuntata de 2 %, asupra preciziei algoritmului de detectie a sprancenelor este descris de cresterea distantei dintre subiect si camera video.





**Figura 3.37** Precizia medie de detecție a sprâncenelor raportată la distanța relativă față de camera video

#### 3.4.4. Concluzii privind influența factorilor analizați asupra performanțelor algoritmului

Autorul prezintă în continuare factorii ce influențează performanțele algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale. Influențele acestor factori au fost studiate conform procedurii experimentale, având la bază setul de secvențe video achiziționate în acest scop.

Referitor la detecția chipului uman, autorul a sintetizat următoarele concluzii:

- corespunzător iluminării de 360 lx, factorii ce au influențat performanțele algoritmului au fost poziționarea la 120 cm și înclinarea chipului cu 120 grade. Precizia determinării coordonatelor regiunii de interes ROI a cunoscut o scădere pentru  $m_x$  la 76.69 %, respectiv  $m_y$  la 91.67 %;
- corespunzător iluminării de 300 lx, factorii ce au influențat performanțele algoritmului au fost poziționarea la 160 cm și înclinarea chipului cu 60 de grade. Precizia determinării coordonatelor regiunii de interes ROI a cunoscut o scădere pentru  $m_x$  la 82.61 %, respectiv  $m_y$  la 91.54 %;
- corespunzător iluminării de 130 lx, factorii ce au influențat performanțele algoritmului au fost poziționarea la 120 cm și orientarea chipului la 90 de grade. Aceștia au redus precizia determinării coordonatelor regiunii de interes ROI astfel:  $m_x$  la 96.27 %, respectiv  $m_y$  la 94.83 %.

Pentru a extrage o concluzie finală asupra factorilor ce influențează precizia de detecție a chipului uman, autorul a realizat o comparație a preciziei medii aferente situațiilor descrise:

- pentru distanța de 80 cm și iluminarea de 360 lx, algoritmul a prezentat cea mai bună precizie medie 99.77 %. Corespunzător iluminării de 300 lx se poate observa o scădere a tendinței de evoluție a preciziei până la valoare medie de 98.36 %, datorată în principal reducerii vizibilității chipului uman. Tendința de scădere a preciziei medii a fost păstrată



- și pentru valoarea iluminării de 130 lx prin valoarea de 97.69 %. Reducerea cu 74 % a iluminării ambientale de la valoare de 360 lx la 130 lx a avut ca efect scăderea cu 3 % a preciziei medii de detecție a chipului uman;
- pentru o distanță de poziționare a subiectului la 80 cm de camera video algoritmul a prezentat cea mai bună precizie medie de 98.55 % pentru localizarea chipului;
  - corespunzător distanței de 120 cm se poate observa o scădere a tendinței de evoluție a preciziei, datorată în principal reducerii ariei chipului relativ la aria totală a imaginii până la valoarea medie de 98.30 %. Tendința de scădere a preciziei medii s-a regăsit și pentru distanța de 160 cm prin valoarea de 97.65 %. Creșterea cu 50 % a distanței de la valoare de 80 cm la 160 cm, a determinat o scădere cu 2 % a preciziei medii de detecție a chipului uman;
  - precizia medie de detecție a chipului uman păstrează tendința descrescătoare și din perspectiva reducerii iluminării ambientale.

Conform cu cele prezentate, autorul concluzionează că factorii ce influențează precizia algoritmului de detecție a chipului uman sunt: creșterea distanței dintre subiect și camera video, împreună cu degradarea condițiilor de iluminare în care sunt achiziționate imaginile.

Rezultatele algoritmului de detecție a trăsăturilor faciale au fost analizate din punct de vedere al determinării preciziei de măsurare, calculată în raport cu valorile de referință. Trăsăturile faciale detectate de către algoritm sunt constituite de poziția ochilor și sprâncenelor în imaginea analizată. Evoluția indicatorilor pe parcursul setului de măsurători a fost analizată pentru a determina factorii ce au cea mai mare influență asupra localizării trăsăturilor faciale în imagine. Referitor la detecția ochilor au fost sintetizate următoarele concluzii:

- corespunzător unei iluminări de 360 lx algoritmul a prezentat precizia medie cea mai ridicată de 98.7 %. De asemenea, s-a constatat pentru iluminările de 300 lx, 130 lx că algoritmul a avut preciziile de 98.54 % și 98,58 %. Diminuarea iluminării nu a afectat în mod semnificativ precizia algoritmului, deoarece scăderea cu 74 % a iluminării a condus la scăderea cu 0.2 % a preciziei. S-a observat că algoritmul prezintă precizia cea mai ridicată la o poziționare a subiectului la distanța de 80 cm relativ la camera video;
- s-a observat că orientarea chipului uman nu a influențat precizia de detecție a ochilor. S-a constatat o scădere a preciziei la 98.54 %, iar aceasta raportată la valoarea maximă de 98.77 % a avut ca efect diminuarea preciziei cu 0.3 % în cazul orientării verticale a chipului uman. Orientarea chipului nu a afectat în mod semnificativ precizia algoritmului, deoarece o variație cu 25 % a orientării a condus la scăderea cu 0.3 % a preciziei;
- s-a observat o tendință descendentă a preciziei medii, cauzată de o îndepărtare a subiectului față de camera video. Corespunzător distanței de 80 cm, algoritmul a prezentat precizia cea mai ridicată 99.387 %. Tendința descendentă a fost confirmată și la distanțele de 120 cm , 160 cm a căror precizii medii au fost de 98.73 %, respectiv 97.88 %. Creșterea cu 50 % a distanței relative de poziționare a subiectului a condus la scăderea preciziei algoritmului cu 4 %.



Conform cu analiza preciziei raportată la factorii de referință, autorul concluzionează, că factorul ce a prezentat influența cea mai pronunțată de 4 %, a fost distanța dintre subiect și camera video. Referitor la detecția sprâncenelor au fost sintetizate următoarele concluzii:

- s-a observat că precizia cea mai ridicată a fost aferentă iluminării de 360 lx și distanței de 80 cm cu valoarea medie de 99.27 %. Creșterea cu 74 % a iluminării a produs o scădere cu 0.3 % a preciziei;
- s-a observat că variația cu 25 % a orientării chipului a condus la reducerea cu 0.7 % a preciziei. Deoarece influența orientării asupra preciziei nu este semnificativă s-a constatat că orientarea chipului nu afectează precizia de detecție a sprâncenelor;
- s-a observat că algoritmul a avut un maxim de performanță aferent distanței de 80 cm dintre subiect și camera video;
- Creșterea cu 50 % a distanței dintre subiect și camera video a avut ca efect scăderea performanței algoritmului cu 2 % a preciziei de detecție.

Autorul concluzionează, că factorul ce a prezentat influența cea mai pronunțată de 2 % a fost descris de creșterea distanței dintre subiect și camera video.

### 3.5. Rezumat și concluzii generale asupra capitolului

Obiectivul principal al acestui capitol a constat în prezentarea modului de implementare și funcționare al algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale. Inițial sunt prezentate argumentele ce susțin dezvoltarea acestui domeniu. Principalul argument este aplicabilitatea în domenii diverse a unui astfel de sistem de detecție a chipului uman. Sunt realizate aplicații ce încorporează detecția chipului uman în domeniile: medical (monitorizarea pacientului, interfețe de comunicare pentru persoane cu dizabilități), militar (controlul aeronavelor), sisteme de monitorizare a șoferului, realitate virtuală, interfețe de comunicare om mașină.

Utilizând informații referitoare la chipul uman și trăsăturile faciale, se poate studia modul de interacțiune a subiectului cu mediul înconjurător. Sunt prezentate succint problemele specifice cu, care se confruntă detecția chipului uman și a trăsăturilor faciale. Influențele cele mai importante sunt: iluminarea ambientală, suprapunerea diferitelor obiecte peste regiunea de interes și poziția subiectului uman în cadrul imaginii. Sunt prezentate de asemenea studiile realizate de diverși cercetători pentru a determina metoda cea mai eficientă de detecție a chipului uman. Descrierea modului de implementare al algoritmului de detecție a chipului uman este prezentată în mod detaliat.

Evidențierea regiunilor ce descriu pielea umană reprezintă o etapă fundamentală a algoritmului, a cărui principiu a fost prezentat în mod detaliat. Procesul de evidențiere presupune conversia reprezentării imaginii din spațiul RGB în spațiul HSL. Reprezentarea imaginii în HSL prezintă avantajul separării componentelor de culoare, astfel încât face posibilă implementarea unui tabel de căutare ce are rolul de a filtra pixeli descriși de o culoare proprie pielii umane. Tabelul de căutare este aplicat asupra imaginii pentru evidențierea regiunilor ce descriu pielea



umană. Regiunile ce descriu pielea umană sunt prelucrate la nivel binar prin intermediul operatorilor morfologici și analizate prin intermediul descriptorilor. Descriptorii prezentați au fost utilizați pentru a caracteriza particulele regăsite în imagine. Particulele din imagine au fost supuse apoi unor etape de filtrare ce au ca parametri de filtrare descriptorii ai particulei. Prin aplicarea procedeelor de prelucrare a imaginii este determinată regiunea ce descrie chipul uman.

Detecția ochilor și a sprâncenelor utilizează informații referitoare la orientarea chipului uman și a distanței dintre ochi, determinate de etapa de detecție a chipului uman. Localizarea ochilor și a sprâncenelor este realizată prin determinarea perechilor de particule ce îndeplinesc constrângerile descrise de orientare și distanță. Funcționarea algoritmului a fost prezentată în mod riguros prin exemplificarea rezultatelor etapelor intermediare de procesare. În a doua parte a capitolului a fost realizat un studiu cu privire la performanțele algoritmului de detecție a chipului și a trăsăturilor faciale. Realizarea acestui studiu a presupus achiziția unui set de secvențe video ce au constituit cadrul experimental de analiză. Secvențele video au fost achiziționate în diverse condiții conform modelului descris.

Performanțele algoritmului au fost analizate prin studierea următorilor factori: iluminare, unghiul de înclinare a chipului și distanța dintre subiect și camera video.

Conform studiului experimental sunt desprinse următoarele concluzii:

- factorii ce influențează precizia algoritmului de detecție a chipului uman sunt: creșterea distanței dintre subiect și camera video, împreună cu degradarea condițiilor de iluminare în care sunt achiziționate imaginile;
- factorul ce prezintă influența cea mai pronunțată de 4 %, asupra preciziei algoritmului de detecție a ochilor este descris de creșterea distanței dintre subiect și camera video;
- factorul ce prezintă influența cea mai pronunțată de 2 %, asupra preciziei algoritmului de detecție a sprâncenelor este descris de creșterea distanței dintre subiect și camera video.

Contribuțiile personale ale autorului la acest capitol sunt următoarele:

- implementarea algoritmului de procesare a secvențelor video pentru detecția chipului uman și a trăsăturilor faciale;
- realizarea componentei software de comandă, achiziție și stocare a secvențelor video;
- elaborarea cadrului experimental utilizat pentru achiziția și analiza imaginilor în scopul evaluării influențelor iluminării, orientarea chipului și distanța dintre subiect și cameră;
- determinarea manuală a caracteristicilor ce descriu chipul uman și localizarea trăsăturilor faciale utilizate ca referințe în procesul de evaluare al algoritmului;
- prelucrarea secvențelor video utilizând algoritmul de procesare și salvarea rezultatelor;
- realizarea analizei cu privire la precizia algoritmului și prezentarea concluziilor obținute.



---

## CAPITOLUL 4

### Algoritm de monitorizare și măsurare a mobilității regiunilor oculare

---



#### 4.1. Considerații privind dezvoltarea unui sistem de monitorizare și măsurare a mobilităților oculare

Măsurarea mișcărilor pleoapelor este un procedeu complex ce presupune efectuarea de calcule rapide și îndeplinirea unor condiții stricte de performanță. Datorită complexității procedurii de prelucrare a imaginilor, această metodă de măsurare solicită consecvent platforma hardware pe care sunt implementate. Criteriile de performanță impun astfel dezvoltarea unui structuri software optimizată de administrare a resurselor hardware, specifice sistemului în scopul atingerii indicatorilor de performanță vizati. În acest scop, structura software trebuie să gestioneze: configurarea parametrilor camerei video, achiziția de secvențe video prin intermediul camerei video, salvarea fluxului video pe discul dur al calculatorului, prelucrarea secvențelor video, măsurarea mobilității pleoapelor și evaluarea parametrilor specifici mobilității pleoapelor.

Domenii de cercetare actuale specifice biomedicinii, printre care și măsurarea mobilității regiunilor oculare, sunt preocupate de înțelegerea funcționalității corpului uman precum și de dezvoltarea de proceduri specifice de monitorizare, măsurare și reabilitare a funcționalității acestuia prin stabilirea de legături între diverși parametri fiziologici și psihici [Guillaume,2007]. Numeroase studii recente, referitoare la măsurarea mobilității oculare au descoperit rezultate utile în ceea ce privește înțelegerea diverselor procese cognitive ce au loc atunci când subiectul uman realizează diferite sarcini precum: explorarea vizuală, vizualizarea dinamică a unui context de interes, citirea unui text, urmărirea unui proces rapid

Realizarea unei măsurători cantitative precise, capabilă să caracterizeze mobilitatea pleoapelor și a globului ocular pe parcursul realizării acestor sarcini, reprezintă un pas important în determinarea posibilelor legături între factorii ce influențează mobilitatea acestor regiuni și efectele produse de către acestea. Un astfel de sistem ce facilitează monitorizarea și măsurarea parametrilor de interes în timp ce subiectul uman realizează diferite sarcini, este util cercetătorilor din acest domeniu, deoarece permite acestora analizarea precisă a parametrilor ce definesc mobilitatea regiunilor oculare. Utilizând această tehnică de măsurare, cercetătorii pot sintetiza o metodă de determinare a simptomelor provocate de o anumită afecțiune. Un astfel de exemplu este constituit de sindromul ochiului uscat, aceasta provoacă un clipit excesiv efectuat de către pleoape, pentru a compensa lipsa de umidificare și lubrifiere la nivelul suprafeței globului ocular. Studiarea mișcării ochiului și a pleoapelor a fost realizată de-a lungul timpului cu diferite metode, însă scopul principal al cercetărilor în acest domeniu este constituit de dezvoltarea unei metode robuste de înaltă rezoluție, care să permită monitorizarea și măsurarea neinvazivă în timp real a mobilității regiunilor oculare pe durata procedurii experimentale.

Metodele specifice de măsurare cele mai utilizate în prelevarea de informații referitoare la dinamica regiunilor oculare, pot fi grupate în două categorii, având ca fundament principiul de măsurare: metode invazive [Robinson,1963], [Barber,1980], aceste metode necesită contactul direct cu subiectul uman, metode neinvazive [Carpenter,1988], [Grauman,2001], [Zhu,2005], [Murray,2007], ce nu necesită contactul cu subiectul analizat. Aparatura diversă utilizată în procesele de măsurare a mobilităților operează după diverse principii de măsurare. Bobina de



căutare [Robinson,1963], are două variante funcționale, prima variantă sub forma unei bobine circulare cu diametrul de aproximativ 2 cm înglobată în interiorul unei lentile de contact dispusă pe suprafața sclerei (scleral search coil), iar cea de a doua construcție realizată sub forma unei bobine cilindrice cu diametrul de aproximativ de 2 mm și lungime de 8 mm dispusă pe pleoapa superioară (search coil). Funcționarea acesteia are la bază principiul inducției electromagnetice.

Conform principiului, în bobina de căutare poziționată în câmpul magnetic constant, creat de un sistem de bobine, se induce o tensiune electrică proporțională cu variația poziției acesteia, determinată de dinamica regiuni monitorizate. Electro-oculografia [Barber,1980], are la bază achiziția de biosemnale, utilizând electrozi de suprafață, relevând activitatea musculară din regiunea oculară și prelucrarea acestora prin procedee de procesare a semnalelor, pentru extragerea informațiilor referitoare la parametrii definiției mobilității regiunilor oculare.

Parametrii mășurați sunt apoi analizați în scopul determinării pe baza variațiilor în timp și amplitudine a unor corelații între acestea și diferiții stimuli ce au interacționat cu subiectul. Recent sunt dezvoltate sistemele video de monitorizare și măsurare [Murray,2007], [Orozco,2007], [Bovarie,2008], care utilizează o cameră video pentru implementarea procedurilor de măsurare a mobilității regiunilor oculare. Diferitele variante de senzori de imagine, al căror spectru de sensibilitate variază din spectrul radiației luminoase vizibile până în domeniul spectrului infraroșu, permit utilizarea acestora cu rezultate promițătoare în diverse aplicații de măsurări biomedicale. Din acest punct de vedere, cei mai des utilizați senzori în construcția de aparatură biomedicală și de monitorizare a subiecților, sunt reprezentați de senzorii: monocromi, color, sensibili în domeniul infraroșu apropiat și cei cu sensibilitate în spectrul infraroșu.

Sistemele integrate ce incorporează camere video funcționează achiziționând imagini și prelucrându-le pentru realizarea măsurărilor. Sistemele de măsurare bazate pe iradierea cu o radiație infraroșie, realizează măsurarea prin emiterea unui fascicul de radiații către suprafața globului ocular și măsurarea nivelului radiației reflectate de către acesta. Metoda permite monitorizarea continuă a mobilităților pleoapelor precum și măsurarea poziției acestora în timp real. Metodele de măsurare descrise sunt afectate de diverse probleme care influențează complexitatea procesului de măsurare, precizia măsurării și confortul subiectului pe parcursul procedurii experimentale. Metoda electro-oculografică de măsurare este influențată de către câmpurile electromagnetice ambientale ce interferează cu semnalul util achiziționat de la subiect. Tehnica concepută pentru a realiza măsurarea, utilizând un fascicul în spectrul infraroșu, este influențată de mișcările capului subiectului uman. Influențele ce au ca sursă schimbarea poziției și/sau orientării spațiale sunt resimțite prin decalibrarea sistemului de măsură și pierderea punctelor de referință necesare procesului de măsurare. Dezavantajele principale specifice metodei de măsurare folosind bobina de căutare sunt invazivitatea și disconfortul creat prin utilizarea lentilei de contact. Purtarea acesteia de către subiectul uman, cauzează acestuia o iritare la suprafața globului ocular și o senzație de disconfort, din urma cărora durata de utilizare în cadrul experimental este mult limitată. Durata medie de utilizare a unui astfel de dispozitiv, fără consecințe asupra sănătății subiectului uman, este de aproximativ 20 minute, [Robinson,1963].



Măsurarea mobilității globului ocular și a pleoapelor a fost realizată inițial prin intermediul metodelor invazive, care datorită caracterului lor incomodează și restricționează mișcările naturale ale regiunilor oculare. Dezvoltarea tehnologiilor informatice a condus în mod firesc la implementarea de noi metode ce asimilează tehnologiile moderne din domeniile senzorilor de captare a imaginii, platformelor de calcul și a tehnicilor de procesare digitală a imaginilor.

Încorporarea noilor tehnologii conferă sistemelor moderne de monitorizare și măsurare a mobilității oculare un caracter neinvaziv, reflectat prin faptul că nu restricționează mișcările naturale ale regiunilor oculare. Metodele de ultimă generație prezintă un interes ridicat în grupul cercetătorilor din domeniul biomedical, deoarece permit monitorizarea subiectului pe parcursul procedurii experimentale și mai apoi măsurarea parametrilor de interes, fără a intra în contact direct cu subiectul [Marcele,2008], [Vander,2003]. În acest mod se asigură o reacție cât mai normală a subiectului uman la apariția unui stimul de natură vizuală sau auditivă.

Dintre cele mai recente aplicații ale sistemelor ce încorporează achiziția și prelucrarea de imagini, se remarcă monitorizarea stării de oboseală a conducătorului auto, [Murray,2007]. Sistemul de evaluare a gradului de oboseală realizează măsurarea în timp real a poziției pleoapelor și a direcției de orientare a privirii, folosind aceste informații pentru a avertiza șoferul atunci când acesta prezintă semne de oboseală [Philipp,2003], [Mercedes,2004]. Testarea procedurilor de măsurare în condiții de laborator au indicat performanțe bune obținute de aceste sisteme, cu toate acestea, rezultatele evaluării în condiții reale indică numeroase probleme a căror rezolvare trebuie îmbunătățită.

Principalii factori ce au influențe negative asupra indicatorilor de performanță ai sistemului sunt constituiți de achiziția imaginilor în condiții de iluminare puternic variabile și suprapunerea peste regiunile de interes a diferitelor obiecte. Un factor care influențează de asemenea sistemele de măsurare este reprezentat de cazul în care subiectul poartă ochelari de vedere, aceștia obturează percepția regiunilor oculare, reducând performanțele sistemului. În continuare este prezentat algoritmul de procesare a secvențelor video pentru măsurarea parametrilor specifici mobilității regiunilor oculare.

## **4.2. Sistemul de urmărire a pozițiilor caracteristicilor faciale de interes**

Procesul de măsurare a mobilității regiunilor oculare are ca fundament monitorizarea continuă, în cadrul secvenței video, a regiunilor oculare de interes. Localizarea regiunii de interes, calculată în urma determinărilor ce țin cont de poziția și orientarea caracteristicilor faciale, se realizează prin intermediul algoritmului de urmărire Lucas Kanade, [Bouget,2000]. Algoritmul de urmărire este capabil să determine schimbările ce au loc în poziționarea caracteristicii urmărite, cunoscând localizarea inițială și măsurând evoluția prin prelucrarea secvenței video de interes.

Algoritmul, realizează monitorizarea localizării sprâncenelor, deoarece acestea sunt utilizate la definirea regiunii de interes asupra căreia acționează algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor. Localizarea sprâncenelor poate suferi modificări datorate deplasării subiectului uman în cadrul vizual al camerei video. Deoarece localizarea regiunii de interes, asupra căreia este



aplicat algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor, folosește ca referință poziționarea sprâncenelor determinată de algoritmul de detecție a trăsăturilor faciale, este necesară urmărirea cu precizie a localizării acestora în imagine.

Determinarea regiunilor oculare de interes a fost realizată prin încadrarea regiunilor specificate de pozițiile ochilor în imagine. Pozițiile ochilor, determinate de algoritmul de detecție a trăsăturilor faciale nu sunt utilizate ca referință și urmărite prin intermediul algoritmului de urmărire, deoarece localizarea lor în imagine este obturată de procesul de clipit uman. Astfel, utilizarea ca referință și urmărirea cu precizie este imposibilă din acest punct de vedere. De aceea, autorul a optat pentru urmărirea ca referință a localizării sprâncenelor și apoi determinarea regiunilor de interes, incorporând informația de localizare a acestora în cadrele video împreună cu orientarea chipului uman.

Algoritmul utilizează o implementare piramidală a structurii de urmărire a regiunilor vizate, iar aceasta presupune eșantionarea cu rezoluții variabile a regiunii de interes, rezultând astfel o structură piramidală în care regiunea de interes este reprezentată inițial cu o rezoluție redusă și care mai apoi, în straturile superioare ale structurii crește succesiv. Structurarea regiunii de interes în acest mod, permite creșterea performanțelor algoritmului prin realizarea unui compromis, între timpul de calcul aferent operațiilor matematice necesare determinării regiunilor urmărite și rezoluția acestor determinări.

Localizarea exactă în imagine a regiunii de interes este determinată cu o precizie îmbunătățită, dependentă de rezoluția nivelului de reprezentare a regiunii de interes la care se realizează urmărirea în acel moment. În acest mod are loc urmărirea punctelor specifice, a căror poziție contribuie la determinarea regiunilor de interes.

#### 4.2.1. Descrierea algoritmului de urmărire a poziției caracteristicilor de interes

Algoritmul de urmărire a localizării unei caracteristici de interes utilizează două imagini bidimensionale, notate  $L$ ,  $K$ , achiziționate succesiv. Imaginile reprezentate în nivele de gri sunt descrise de valorile de culoare specifice pixelilor  $L(x)=L(x,y)$ ,  $K(x)=K(x,y)$ , descriși de localizarea  $p=[x,y]$ , conform căreia  $[x,y]$  definesc coordonatele de localizare ale unui punct de interes în cadrul imaginii. Imaginile  $L$ ,  $K$  sunt descrise prin intermediul a două matrici bidimensionale. Considerând ca referință coordonatele  $[0,0]$  ce prezintă locația din stânga sus a imaginii, sunt definite dimensiunile imaginii corespunzătoare axelor de coordonate prin  $n_x, n_y$ . Astfel locația din dreapta jos, reprezentând pixelul cel mai îndepărtat de origine, este descrisă prin  $[n_x-1, n_y-1]$ . Scopul algoritmului constă în determinarea localizării punctului de interes  $k=[k_x, k_y]$  în imaginea secundă  $K$ , cunoscând localizarea lui  $l=[l_x, l_y]$ , din prima imagine  $L$ .

Localizarea punctului de interes în imaginea a doua este descrisă conform formulei (4.1). În această relație  $d=[d_x, d_y]$  reprezintă vectorul vitezelor corespunzător punctului urmărit descris de locația  $[x,y]$ .

$$k[x, y]^T = l[l_x, l_y]^T + d[d_x, d_y]^T = [l_x + d_x, l_y + d_y]^T \quad (4.1)$$



Vectorul vitezelor  $d=[d_x, d_y]$  este cunoscut și sub denumirea de flux optic. Urmărirea particulei în imagine presupune determinarea curgerii optice în regiunea ce înconjoară locația de interes. Regiunea ce înconjoară locația de interes pentru care este determinat fluxul optic este definită prin intermediul dimensiunilor acesteia  $(2\omega_x+1, 2\omega_y+1)$ .

Regiunea ce înconjoară locația de interes este denumită în continuare, fereastră de integrare. Dimensiunile ferestrei de integrare sunt dictate de valorile specificate pentru dimensiunile  $\omega_x, \omega_y$ . Valorile specifice dimensiunilor ferestrei de integrare cele mai des utilizate sunt: 2,3,4,5,6,7,8 și sunt măsurate în pixeli. Determinarea fluxului optic, specific ferestrei de integrare, descrisă de localizarea punctului de interes, este calculată conform relației (4.2).

$$d = d[d_x, d_y] = \sum_{x=l_x-\omega_x}^{l_x+\omega_x} \sum_{y=l_y-\omega_y}^{l_y+\omega_y} (L(x, y) - K(x + d_x, y + d_y))^2 \quad (4.2)$$

Urmărirea localizării punctului de interes pe parcursul secvențelor video trebuie să fie precisă și robustă. Deoarece, precizia de localizare a punctelor de interes, în acest caz pozițiile sprâncenelor influențează determinarea regiunii de interes și implicit procesul de măsurare, aceasta trebuie să fie cat mai bună.

Algoritmul obține o precizie bună prin folosirea ferestrelor de integrare de dimensiuni reduse. Acestea prezintă avantajul menținerii nivelului ridicat de detalii în fereastra de integrare, în cazul în care punctul de interes traversează o regiune de intersecție a zonelor de culori diferite. În această regiune, locația de interes se poate deplasa cu viteze diferite, iar o fereastră de integrare de dimensiuni ridicate reduce nivelul detaliilor, scăzând precizia.

Robustețea, se referă la sensibilitatea urmăririi poziției de interes sub influența factorilor: iluminarea ambientală, dimensiunea imaginii, mișcarea obiectelor din interiorul imaginii. Pentru a realiza o urmărire robustă a unui punct de interes ce prezintă o viteză cu o dinamică ridicată, este necesară alegerea unei ferestre de integrare de dimensiune ridicată.

Pentru a realiza o urmărire precisă și robustă este necesară găsirea unui compromis, care să permită realizarea localizării punctului de interes cu cele mai bune performanțe. Compromisul între precizie și robustețe stabilește dimensiunea ferestrei de integrare.

O soluție la această problema este implementarea unei structuri piramidale de calculare fluxului optic corespunzător ferestrei de integrare, ce prezintă o precizie locală suficient de mare pentru urmărirea robustă a punctului de interes.

#### 4.2.1.1. Implementarea unei structuri piramidale de reprezentare a imaginii

Definim structura piramidală de reprezentare a unei imaginii generale  $I(x, y)$ , de dimensiuni  $n_x, n_y$ , ca fiind o succesiune de imagini grupate pe mai multe nivele notate  $N$ . Primul nivel, nivelul zero descrie imaginea originală  $I^0=I$ , iar dimensiunile imaginii corespunzătoare nivelului zero sunt notate  $n_x^0 = n_x, n_y^0 = n_y$ . Reprezentarea piramidală a imaginii este realizată astfel încât imaginile specifice sunt determinate în mod recursiv. Astfel, imaginea nivelului zero  $I^0$  este determinată din imaginea originală  $I$ , iar imaginea nivelului unu  $I^1$  este determinată din imaginea



nivelului zero  $I^0$  și așa mai departe până la determinarea ultimului nivel. Fie structura piramidală de reprezentare a imaginii cu  $N$  nivele și imaginea  $I^{N-1}$  specifică nivelului  $N-1$ , descrisă de dimensiunile  $n_x^{N-1}, n_y^{N-1}$  și calculată conform relației (4.3).

$$I^N(x, y) = \frac{1}{4} I^{N-1}(2x, 2y) + \frac{1}{8} (I^{N-1}(2x-1, 2y) + I^{N-1}(2x+1, 2y) + I^{N-1}(2x, 2y-1) + I^{N-1}(2x, 2y+1)) + \frac{1}{16} (I^{N-1}(2x-1, 2y-1) + I^{N-1}(2x+1, 2y+1) + I^{N-1}(2x-1, 2y+1) + I^{N-1}(2x+1, 2y-1)) \quad (4.3)$$

Imaginile intermediare ce descriu regiunea de un pixel care înconjoară imaginea  $I^{N-1}$ , pentru dimensiunile  $0 \leq x \leq n_x^{N-1} - 1, 0 \leq y \leq n_y^{N-1} - 1$ , sunt definite conform relației (4.4).

$$\begin{aligned} I^{N-1}(-1, y) &\equiv I^{N-1}(0, y) \\ I^{N-1}(x, -1) &\equiv I^{N-1}(x, 0) \\ I^{N-1}(n_x^{N-1}, y) &\equiv I^{N-1}(n_x^{N-1} - 1, y) \\ I^{N-1}(x, n_y^{N-1}) &\equiv I^{N-1}(x, n_y^{N-1} - 1) \\ I^{N-1}(n_x^{N-1}, n_y^{N-1}) &\equiv I^{N-1}(n_x^{N-1} - 1, n_y^{N-1} - 1) \end{aligned} \quad (4.4)$$

Structura piramidală de reprezentare a imaginii definită conform relației (4.3), este definită doar pentru dimensiunile  $x, y$  ce respectă constrângerea  $0 \leq 2x \leq n_x^{N-1} - 1, 0 \leq 2y \leq n_y^{N-1} - 1$ , astfel dimensiunile  $n_x^N, n_y^N$  corespunzătoare imaginii de la nivelul  $N$  reprezintă valorile maxime ce respectă condițiile specificate de relațiile (4.5).

$$\begin{aligned} n_x^N &\leq \frac{n_x^{N-1} + 1}{2} \\ n_y^N &\leq \frac{n_y^{N-1} + 1}{2} \end{aligned} \quad (4.5)$$

Reprezentarea piramidală a imaginii este construită în mod recursiv, utilizând relațiile de definiție (4.3), (4.4), (4.5). Corespunzător celor două imagini succesive  $L, K$ , în care se realizează urmărirea punctului de interes, sunt determinate reprezentările piramidale ce descriu aceste imagini notate  $P: \{L^N\}_{N=(0, N_m)}$ , respectiv  $P: \{K^N\}_{N=(0, N_m)}$ . Valoarea lui  $N_m$  determină numărul de nivele ale reprezentării piramidale. Deoarece imaginile achiziționate pentru monitorizarea subiectului uman și măsurarea mobilității pleoapei au rezoluția de  $640 \times 480$  pixeli este aleasă o structura piramidală cu patru nivele  $N_m = 4$ . Structura piramidală este descrisă prin imaginile  $I^1, I^2, I^3, I^4$ , a căror dimensiuni sunt de:  $320 \times 240, 160 \times 120, 80 \times 60, 40 \times 30$  pixeli. Reprezentarea imaginii originale, utilizând structura piramidală, facilitează urmărirea unui punct de interes care se deplasează în interiorul imaginii cu o viteză ridicată, care în mod normal nu poate fi urmărită utilizând doar fereastra de integrare de dimensiuni  $\omega_x, \omega_y$ .



#### 4.2.1.2. Urmărirea poziției de interes prin intermediul structurii piramidale

Urmărirea poziției punctului de interes din imaginea inițială  $L(x,y)$  descris prin locația  $l=[l_x, l_y]$ , constă în determinarea poziției corespunzătoare  $k=[k_x, k_y]$  în imaginea  $K(x,y)$ , descrisă conform relației (4.1), prin calculul fluxului optic  $d=[d_x, d_y]$ .

Corespunzător unei structuri piramidale cu  $N=4$  nivele, este definită localizarea punctului de interes în cadrul imaginilor din componența structurii, prin  $l^N = [l_x^N, l_y^N]$ . Conform cu relațiile (4.3), (4.4), (4.5) sunt calculate localizările punctului de interes în cadrul nivelelor de imagine, prin intermediul relației (4.6).

$$l^N = \frac{l}{2^N} \quad (4.6)$$

Pozițiile descrise de  $l^1, l^2, l^3, l^4$ , precizează pozițiile punctului de interes în cadrul imaginilor din structura piramidală. Algoritmul piramidal de urmărire a poziției caracteristici de interes realizează determinarea curgerii optice corespunzătoare nivelului cel mai ridicat al piramidei  $N=4$ . Rezultatul calcului de determinare a fluxului optic corespunzător acestui nivel este propagat către nivelul imediat inferior  $N=3$ , sub forma unei aproximări inițiale a deplasării poziției punctului de interes. Incorporând această aproximare inițială este determinat fluxul optic pentru nivelul  $N=3$  și rezultatul acestuia este propagat către nivelul  $N=2$ .

Calculul fluxului optic urmează această formă iterativă până la nivelul  $N=0$ , corespunzător imaginii originale. Procesul de propagare a aproximării fluxului optic, între două nivele piramidale succesive este prezentat în continuare. Se presupune cunoașterea fluxului optic la nivelul  $N$  din cadrul piramidei  $a^N = [a_x^N, a_y^N]^T$ , acesta este determinat prin calcul la nivelul precedent. Determinarea fluxului optic corespunzător nivelului actual presupune găsirea noii deplasări de poziție  $d^N = [d_x^N, d_y^N]^T$ , calculată conform relației (4.7).

$$d^N = d[d_x^N, d_y^N] = \sum_{x=l_x^N - \omega_x}^{l_x^N + \omega_x} \sum_{y=l_y^N - \omega_y}^{l_y^N + \omega_y} (L^N(x, y) - K^N(x + a_x^N + d_x^N, y + a_y^N + d_y^N))^2 \quad (4.7)$$

Fereastra de integrare utilizată are dimensiunea de  $(2\omega_x+1, 2\omega_y+1)$  pentru toate nivelele  $N$  specifice structurii piramidale de reprezentare a imaginii. Aproximarea inițială  $a^N = [a_x^N, a_y^N]^T$ , este utilizată pentru a poziționa mai precis locația de interes în cadrul imaginii secunde  $K$ , ceea ce permite calculul facilă a fluxului optic corespunzător acestui nivel  $d^N = [d_x^N, d_y^N]^T$ . Rezultatul ce descrie fluxul optic pentru acest nivel este propagat către nivelul următor  $N-1$ , prin calculul valorii approximate corespunzătoare nivelului  $N-1$ , conform relației (4.8).

$$a^{N-1} = 2(a^N + d^N) \quad (4.8)$$

În mod asemănător procedurii descrise este calculat și fluxul optic pentru nivelul  $N-1$  și nivelelor următoare, până când se ajunge la determinarea fluxului optic al imaginii inițiale de nivel  $N=0$ . Corespunzător acestui caz este utilizată o aproximare a fluxului optic egală cu zero,  $a^N = [0, 0]^T$ . Valoarea finală a fluxului optic, ce caracterizează deplasarea punctului de interes în raport cu imaginea inițială  $L(x,y)$  și determină localizarea acestuia în imaginea  $K(x,y)$ , este calculat conform relației (4.9).



$$d = \sum_{N=0}^{N_m} 2^N d^N \quad (4.9)$$

Avantajul implementării structurii piramidale de urmărire este constituit de repartitia determinării fluxului optic pe nivelele piramidei, astfel încât valoarea fluxului optic pentru fiecare nivel poate fi menținută într-o gamă redusă, ceea ce înseamnă o precizie ridicată de determinare a localizării unei caracteristici ce se deplasează cu o viteză ridicată, între două cadre succesive de imagine. Presupunând că fiecare nivel din structura piramidală poate determina cu precizie o deplasare în pixeli  $d_{\max}$ , se poate determina deplasarea maximă în cazul unei structuri de urmărire cu  $N$  nivele conform relației (4.10).

$$d_{final} = (2^{N-1} - 1) d_{\max} \quad (4.10)$$

Considerând o structură piramidală de urmărire cu  $N=4$  nivele și corespunzător fiecărui nivel, avem o deplasare  $d_{\max}$  de un pixel, atunci deplasarea maximă finală ce poate fi detectată cu precizie de algoritm este de 15 pixeli.

#### 4.2.1.3. Calculul fluxului optic prin intermediul metodei iterative Lucas-Kanade

În continuare este descris modul de calcul al fluxului optic din imagine, în cadrul oricărui nivelului general  $N$ . Corespunzător fiecărui nivel din cadrul reprezentării piramidale scopul algoritmului este de a determina fluxul optic  $d^N$  ce minimizează funcția de identificare descrisă de relația (4.6). Deoarece etapele de calcul sunt identice pentru fiecare nivel, s-a realizat o simplificare a notațiilor utilizate în descrierea procesului, conform relațiilor (4.11).

$$\begin{aligned} \forall(x, y) \in [p_x - \omega_x - 1, p_x + \omega_x + 1] \times [p_y - \omega_y - 1, p_y + \omega_y + 1], \\ A(x, y) \equiv L^N(x, y) \\ \forall(x, y) \in [p_x - \omega_x, p_x + \omega_x] \times [p_y - \omega_y, p_y + \omega_y], \\ B(x, y) \equiv K^N(x + a_x^N, y + a_y^N) \end{aligned} \quad (4.11)$$

Vectorul ce specifică fluxul optic este notat în continuare  $\bar{v} = [v_x \ v_y]^T = d^N$  și de asemenea, vectorul de poziționare a imaginii  $p = [p_x, p_y]^T = l^N$ . Conform noilor notații, algoritmul are ca scop determinare vectorului de deplasare,  $\bar{v} = [v_x \ v_y]^T$ , a poziției urmărite, ce minimizează funcția descrisă prin intermediul relației (4.12).

$$\varepsilon(\bar{v}) = \varepsilon(v_x, v_y) = \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (A(x, y) - B(x + v_x, y + v_y))^2 \quad (4.12)$$

Valoarea ce determină minimizarea acestei funcții caracterizează optimul acesteia, iar derivata lui  $\varepsilon$  în raport cu  $\bar{v}$  este zero, conform relației (4.13).

$$\left. \frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \right|_{\bar{v}=\bar{v}_{opt}} = [0 \ 0] \quad (4.13)$$

Se obține în continuare derivata conform relației (4.14).



$$\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} = -2 \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (A(x, y) - B(x + v_x, y + v_y))^2 \cdot \left[ \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \right] \quad (4.14)$$

Deoarece structura piramidală realizează divizarea deplasării suferite de caracteristica urmărită pe nivelele structurii piramidale, se poate aproxima  $B(x + v_x, y + v_y)$  cu  $\bar{v} = [0 \ 0]^T$ , deoarece fluxul optic măsurat de către un nivel al structurii piramidale de urmărire se estimează a fi redus. Prin substituirea acestei aproximări în relația (4.14), se obține relația (4.15).

$$\frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \approx -2 \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (A(x, y) - B(x, y) - \left[ \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \right] \bar{v})^2 \cdot \left[ \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \right] \quad (4.15)$$

Din structura relației (4.15) se poate observa că  $A(x, y) - B(x, y)$  poate fi interpretată ca o derivată parțială a imaginii în punctul  $[x \ y]^T$ , definită conform relației (4.16).

$$\forall (x, y) \in [p_x - \omega_x, p_x + \omega_x] \times [p_y - \omega_y, p_y + \omega_y], \quad \delta I(x, y) \equiv A(x, y) - B(x, y) \quad (4.16)$$

Vectorul gradient al imaginii este descris în relația x prin intermediul  $\left[ \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \right]$ , notat în continuare conform relației (4.17).

$$\nabla I = \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \end{bmatrix} = \left[ \frac{\partial B}{\partial x} \frac{\partial B}{\partial y} \right]^T \quad (4.17)$$

Derivatele imaginii  $A(x, y)$ , definite de  $I_x, I_y$ , pot fi calculate direct din imaginea  $A(x, y)$ , în vecinătatea descrisă de dimensiunile  $[2\omega_x + 1] \times [2\omega_y + 1]$  a punctului p, în mod independent față de cea de a doua imagine  $B(x, y)$ . Derivatele imaginii  $A(x, y)$  sunt calculate conform relațiilor (4.18).

$$\begin{aligned} I_x(x, y) &= \frac{\partial A(x, y)}{\partial x} = \frac{A(x + 1, y) - A(x - 1, y)}{2} \\ I_y(x, y) &= \frac{\partial A(x, y)}{\partial y} = \frac{A(x, y + 1) - A(x, y - 1)}{2} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Conform noilor notații relația (4.15) poate fi scrisă conform (4.19), (4.20).

$$\frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \approx \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (\nabla I^T \bar{v} - \delta I) \nabla I^T \quad (4.19)$$

$$\frac{1}{2} \left[ \frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \right]^T \approx \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \left( \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \bar{v} - \begin{bmatrix} \delta I I_x \\ \delta I I_y \end{bmatrix} \right) \quad (4.20)$$

Sunt realizate următoarele notații, conform relațiilor (4.21).

$$G \equiv \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}, \bar{b} \equiv \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \begin{bmatrix} \delta I I_x \\ \delta I I_y \end{bmatrix} \quad (4.21)$$

Utilizând aceste notații, relația (4.20) poate fi scrisă conform relației (4.22).

$$\frac{1}{2} \frac{\partial \varepsilon(\bar{v})}{\partial \bar{v}} \approx G \bar{v} - \bar{b} \quad (4.22)$$



Definim astfel conform relației (4.13) nivelul optim al vectorului ce descrie fluxul optic, prin relația (4.23). Relația este validă atât timp cât matricea  $G$  este inversabilă, fapt se concretizează prin existența informațiilor referitoare la gradientul imaginii  $A(x,y)$  pentru direcțiile  $x$  și  $y$  în vecinătatea punctului  $p$ .

$$\bar{v}_{optim} = G^{-1}\bar{b} \quad (4.23)$$

Relația descrie modul standard de calculare a fluxului optic, conform algoritmului Lucas-Kanade. Modalitatea de calcul prezentată este valabilă doar dacă deplasarea în pixeli a punctului este mică, pentru a satisface aproximarea lui  $B(x + v_x, y + v_y)$ , ce a condus la relația (4.15).

În continuare, este prezentat modul de calcul iterativ al fluxului optic ce determină localizarea punctului de interes în cea de a doua imagine. Algoritmul realizează un calcul iterativ al cărui index este notat cu  $k$ , începe de la valoarea 0 și este incrementat după fiecare iterație. Pentru o iterație  $k \geq 1$ , presupunând că iterațiile precedente  $1, \dots, k-1$  au determinat o aproximare inițială  $\bar{v}^{k-1} = [v_x^{k-1} \ v_y^{k-1}]^T$  pentru deplasarea  $v$ , a punctului de interes, de definește  $B_k$  ca fiind noua imagine a cărei poziție a fost actualizată conform aproximării inițiale  $\bar{v}^{k-1}$ , prin relația (4.24).

$$\begin{aligned} \forall(x, y) \in [p_x - \omega_x, p_x + \omega_x] \times [p_y - \omega_y, p_y + \omega_y], \\ B_k(x, y) \equiv B(x + v_x^{k-1}, y + v_y^{k-1}) \end{aligned} \quad (4.24)$$

Scopul este calculul deplasării pixelului de interes  $\bar{\eta}^k = [\eta_x^k, \eta_y^k]$ , ce are ca efect minimizarea funcției, descrisă de relația (4.25).

$$\varepsilon^k(\bar{\eta}^k) = \varepsilon(\eta_x^k, \eta_y^k) = \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} (A(x, y) - B_k(x + \eta_x^k, y + \eta_y^k))^2 \quad (4.25)$$

Conform relației (4.23), calculul soluției de minimizare se efectuează prin determinarea fluxului optic conform algoritmului Lucas-Kanade, descris pentru această etapă de formula (4.26).

$$\bar{\eta}^k = G^{-1}\bar{b}_k \quad (4.26)$$

Vectorul  $\bar{b}_k$  din componența formulei (4.26), descrie vectorul de diferențe al imaginii.

$$\bar{b}_k = \sum_{x=p_x-\omega_x}^{p_x+\omega_x} \sum_{y=p_y-\omega_y}^{p_y+\omega_y} \begin{bmatrix} \delta I(x, y) I_x(x, y) \\ \delta I(x, y) I_y(x, y) \end{bmatrix} \quad (4.27)$$

Imaginile ce definesc neconcordanța calculată pentru iterația  $k$ , sunt definite conform relației (4.28).

$$\begin{aligned} \forall(x, y) \in [p_x - \omega_x, p_x + \omega_x] \times [p_y - \omega_y, p_y + \omega_y], \\ \delta I_k(x, y) = A(x, y) - B_k(x, y) \end{aligned} \quad (4.28)$$

Derivatele parțiale ale imaginii notate  $I_x, I_y$  sunt calculate la începutul fiecărei iterații, conform relațiilor (4.18). Astfel, matricea pătratică  $G$  descrisă de relația (4.21) rămâne constantă pe parcursul întregii iterații  $k$ , fapt ce constituie un avantaj prin reducerea numărului de calcule necesare determinării fluxului optic. Vectorul  $\bar{b}_k$  trebuie determinat la fiecare iterație a algoritmului, deoarece acesta identifică diferența de localizare a punctului de interes dintre cele două imagini, după translarea prin intermediul vectorului  $\bar{v}^{k-1}$ . Determinarea cu succes a



fluxului optic  $\bar{\eta}^k$  prin intermediul relației (4.26) pentru iterația  $k$ , conduce la calculul unei noi aproximări  $\bar{v}^k$  pentru deplasarea punctului de interes ce va fi utilizată în cadrul iterației  $k+1$ , conform formulei (4.29).

$$\bar{v}^k = \bar{v}^{k-1} + \bar{\eta}^k \quad (4.29)$$

Calculul iterativ al fluxului optic continuă până când valoarea calculată pentru reziduul pixelului  $\bar{\eta}^k$  este mai mică decât o valoare de prag, sau până la atingerea numărului maxim de iterații posibile. Valoarea de prag stabilită influențează precizia de urmărire a punctului de interes, o valoare utilizată de către algoritm este de 0.04 pixeli. În cazul general un număr de 6 iterații sunt suficiente pentru atingerea convergenței. Presupunând că urmărirea deplasării unui punct de interes între două imagini a necesitat iterarea algoritmului de  $k$  ori, soluția finală ce specifică valoarea fluxului optic, deci plasarea punctului în imaginea consecutivă este determinat prin intermediul relației (4.30).

$$\bar{v} = d^N = \bar{v}^k = \sum_{k=1}^K \bar{\eta}^k \quad (4.30)$$

Determinarea lui  $\bar{v}$ , realizează minimizarea funcția eroare descrisă prin relația (4.12), ceea ce conduce la terminarea procedurii iterative de calcul a fluxului optic. Vectorul  $d^N$  este introdus în formula de calcul (4.8) și procedura este repetată pentru nivelele consecutive  $N-1, N-2, \dots, 0$  din componenta structurii piramidale de calcul.

#### 4.2.1.4. Calculul cu precizie a localizării

Urmărirea localizării punctului de interes, utilizând algoritmul descris, necesită definirea preciziei de localizare de valoare subunitară, cunoscută sub denumirea de *precizie subpixel*. Precizia subpixel descrie necesitatea de a calcula intensitatea imaginii corespunzătoare unui pixel, a cărui coordonate de poziționare în cadrul imaginii nu sunt descrise de numere întregi.

Determinarea cu precizie subpixel a intensității unui pixel din imagine aflat în această situație, se realizează utilizând interpolarea liniară. Presupunând că pentru un nivel  $N$  al structurii piramidale de descriere a imaginii este necesară calculul valorii imaginii  $I^N(x, y)$ , în situația în care coordonatele  $(x, y)$  nu sunt numere întregi. Atunci sunt definite  $x_0, y_0$ , ca fiind părțile întregi corespunzătoare lui  $x, y$  și  $\alpha_x, \alpha_y$  ca reprezentând diferența până la valoarea întreagă, cu valori în intervalul  $(0, 1)$ . Relația descrie (4.31) coordonatele prin intermediul celor două valori.

$$\begin{aligned} x &= x_0 + \alpha_x \\ y &= y_0 + \alpha_y \end{aligned} \quad (4.31)$$

Prin intermediul interpolării liniare se poate calcula astfel valoarea  $I^N(x, y)$  utilizând valorile de intensitate a pixelilor corespunzători imaginii originale, prin intermediul relației (4.32).

$$\begin{aligned} I^N(x, y) &= (1 - \alpha_x)(1 - \alpha_y)I^N(x_0, y_0) + \alpha_x(1 - \alpha_y)I^N(x_0 + 1, y_0) + \\ &\quad (1 - \alpha_x)\alpha_y I^N(x_0, y_0 + 1) + \alpha_x\alpha_y I^N(x_0 + 1, y_0 + 1) \end{aligned} \quad (4.32)$$

Calculul derivatelor imaginii  $I_x(x, y), I_y(x, y)$ , în vecinătatea descrisă de  $(x, y) \in [p_x - \omega_x, p_x + \omega_x] \times [p_y - \omega_y, p_y + \omega_y]$ , impune determinarea valorilor de intensitate a pixelilor



$I^N(x, y)$ , în vecinătatea  $(x, y) \in [p_x - \omega_x - 1, p_x + \omega_x + 1] \times [p_y - \omega_y - 1, p_y + \omega_y + 1]$  a punctului central  $p = [p_x \ p_y]^T$ , a cărui coordonate nu sunt numere întregi. Aceasta conduce la definirea coordonatelor punctului central, utilizând partea întreagă și diferența, conform relațiilor (4.33).

$$\begin{aligned} p_x &= p_{x_0} + p_{x_\alpha} \\ p_y &= p_{y_0} + p_{y_\alpha} \end{aligned} \quad (4.33)$$

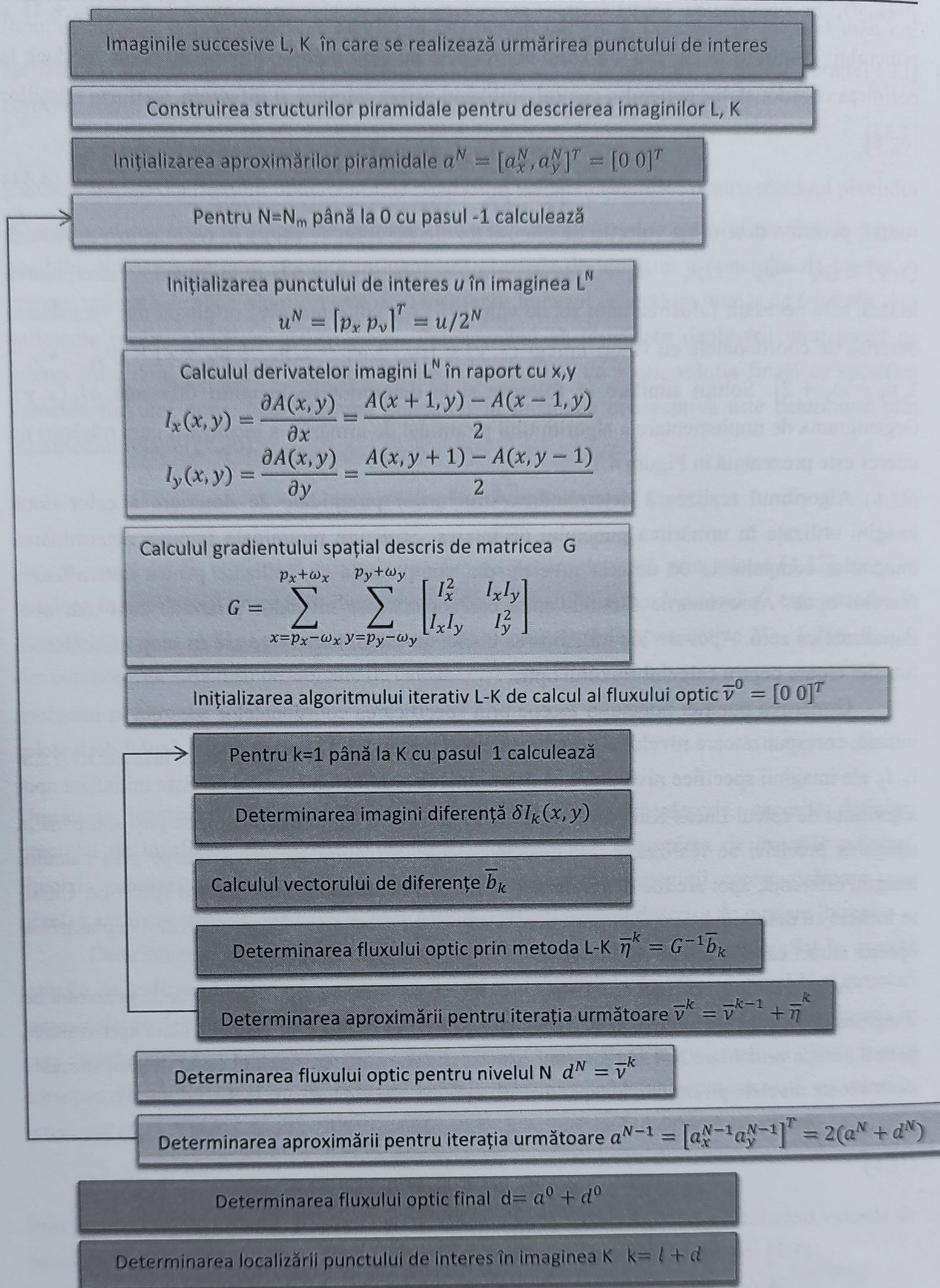
Astfel, pentru a determina valorile de intensitate ale pixelilor  $I^N(x, y)$  în regiuni în vecinătatea  $(x, y) \in [p_x - \omega_x - 1, p_x + \omega_x + 1] \times [p_y - \omega_y - 1, p_y + \omega_y + 1]$ , utilizând interpolarea liniară, este necesară folosirea unui set de valori  $I^N(x, y)$  din imaginea originală din vecinătatea descrisă de coordonatele cu valori întregi  $(x, y) \in [p_{x_0} - \omega_x - 1, p_{x_0} + \omega_x + 2] \times [p_{y_0} - \omega_y - 1, p_{y_0} + \omega_y + 2]$ . Soluții similare se folosesc și la determinarea imaginii diferență  $\delta I_k(x, y)$ . Organigrama de implementare a algoritmului piramidal de urmărire a localizării unei trăsături de interes este prezentată în Figura 4.1.

Algoritmul realizează determinarea structurilor piramidale de descriere a celor două imagini utilizate în urmărirea punctului de interes. Structura piramidală impune determinarea imaginilor componente ce descriu nivelele din componența sa, utilizate pentru determinarea fluxului optic. Aproximările fluxului optic corespunzătoare nivelelor piramide sunt mai apoi inițializate cu zero. Apoi are loc inițializarea buclei de calcul iterativ ce are ca scop minimizarea funcției eroare pentru calculul fluxului optic.

Urmărirea poziției punctului începe prin specificarea coordonatelor acestuia în imaginea inițială, corespunzătoare nivelului cel mai ridicat al piramidei. Urmează apoi calculul derivatelor  $I_x, I_y$  ale imaginii specifice nivelului  $k$  și determinarea gradientului spațial  $G$ . Este inițializat apoi algoritmul de calcul Lucas-Kanade al fluxului optic. Pentru un număr maxim de pași sau până la atingerea preciziei se realizează următoarele calcule. Structura recursivă începe prin calculul imaginii diferență, apoi are loc determinarea vectorului de diferențe și deplasării specifice. Ciclul se încheie cu determinarea aproximării deplasării pentru iterația următoare. Calculul deplasării se oprește atunci când se atinge convergența sau numărul maxim de iterații.

Atingerea convergenței acestei etape coincide cu determinarea fluxului optic prezentat de imaginea specifică nivelului  $N$  al structurii piramidale. În continuare este calculată aproximarea pentru iterația următoare  $N-1$ . Algoritmul realizează determinarea fluxului optic în mod succesiv pentru toate nivelele piramidei, începând cu nivelul cel mai ridicat.





**Figura 4.1** Organigrama de funcționare a algoritmului piramidal de urmărire a localizării unei trăsături de interes



### 4.3. Localizarea pleoapelor și urmărirea regiunilor oculare

Procesul de măsurare a mobilității regiunilor oculare, folosește pentru extragerea informațiilor referitoare la dinamica pleoapelor regiunile din imaginea originală ce identifică ochii subiectului.

Determinarea regiunilor ce identifică ochii subiectului uman se realizează utilizând informațiile cu privire la orientarea chipului, localizarea ochilor și a sprâncenelor, măsurate de către algoritmul de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale descris în capitolul patru. Identificarea regiunilor de interes, procesate de către componenta ce măsoară mobilitatea pleoapelor, se realizează utilizând ca referință poziția sprâncenelor în imaginea analizată.

Localizarea sprâncenelor a fost aleasă de autor ca trăsătură de referință în identificarea regiunilor oculare, deoarece poziția acestora poate fi determinată în mod robust și precis de către algoritmul de detecție a trăsăturilor faciale. Poziționarea sprâncenelor este fiabilă chiar dacă subiectul uman prezintă variații de poziție și orientare a chipului uman pe parcursul secvenței video analizate. Variațiile de poziție și orientare a chipului uman afectează gradul de vizibilitate al trăsăturilor faciale, ceea ce face imposibilă urmărirea precisă a unei caracteristici în cazul în care subiectul uman prezintă o mobilitate ridicată.

Un argument ce susține alegerea poziției sprâncenelor, ca o referință fiabilă, ce poate fi urmărită pe parcursul secvențelor video analizate, este faptul că identificarea acesteia se poate realiza și atunci când subiectul uman clipește. Spre deosebire de poziția ochilor, care nu poate fi identificată cu robustețe atunci când subiectul uman clipește, deoarece suprapunerea pleoapei superioare peste suprafața globului ocular reduce vizibilitatea regiunii utilizată pentru identificarea ochilor. Deoarece pleopa superioară este o regiune descrisă de culoarea pielii umane, atunci când ochii sunt închiși algoritmul de detecție nu este capabil să identifice regiunea globului ocular, caracterizată în mod normal de culori diferite pielii.

Considerând argumentele prezentate, autorul folosește ca referință localizarea sprâncenelor în imagine pentru a determina regiunea oculară de interes. Localizarea sprâncenelor este determinată inițial prin aplicarea algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale, asupra primelor douăzeci de cadre consecutive ale secvenței video analizate. Procesarea acestor cadre consecutive realizează determinarea mărimilor de interes utilizate pentru identificarea regiunilor oculare. Următoarea etapă constă în inițializarea algoritmului de urmărire a localizării sprâncenelor cu valorile determinate de algoritmul de detecție a trăsăturilor faciale.

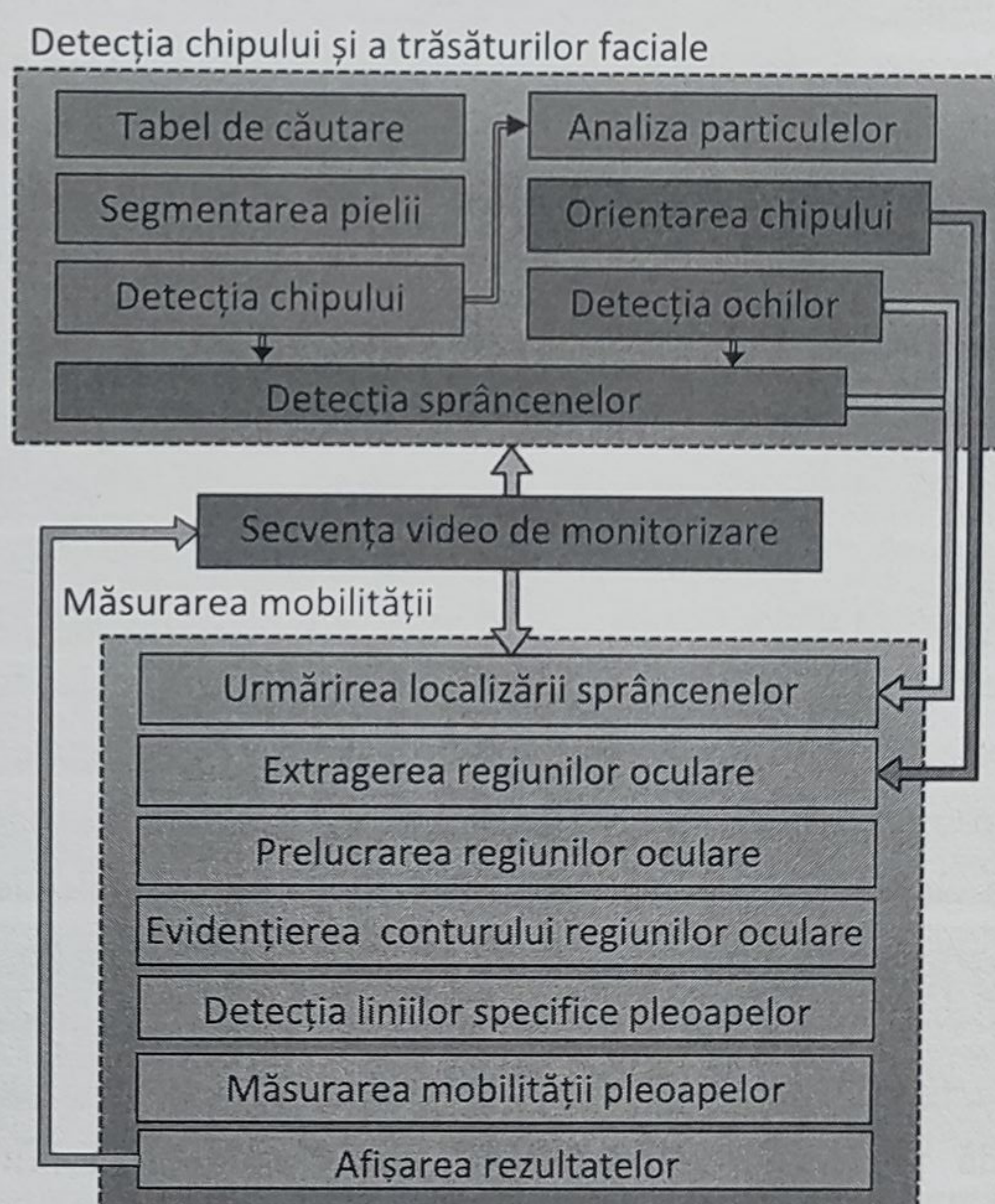
Regiunile de interes ce descriu localizarea ochilor sunt apoi determinate pentru fiecare cadru din secvența video, folosind poziția curentă a sprâncenelor, calculată de algoritmul de urmărire, împreună cu orientarea chipului și distanța între ochi. Considerând valorile inițiale ale acestor parametri, algoritmul de urmărire realizează adaptarea regiunilor de interes ce identifică poziția ochilor pentru fiecare cadru al secvenței video. Funcționarea algoritmului de urmărire a localizării pleoapelor, determinare a regiunilor oculare și măsurare a mobilității pleoapelor este descris de organigrama prezentată în figura 4.3. Identificarea regiunilor oculare conform parametrilor determinați de către algoritmul de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale este exemplificată în figura 4.2. În această figură au fost prezentați parametri specifici folosiți pentru determinarea regiunilor oculare, cât și inițializarea algoritmului de urmărire a poziției



sprâncenelor în cadrul secvenței video. De asemenea, se observă determinarea inițială a regiunilor oculare reprezentate prin dreptunghiurile de culoare verde. Localizarea sprâncenelor, a căror poziție este urmărită pe parcursul secvenței video este reprezentată în figura 4.2 (c) prin identificatorii punctuali de culoare roșie, a căror centru este simbolizat cu verde.



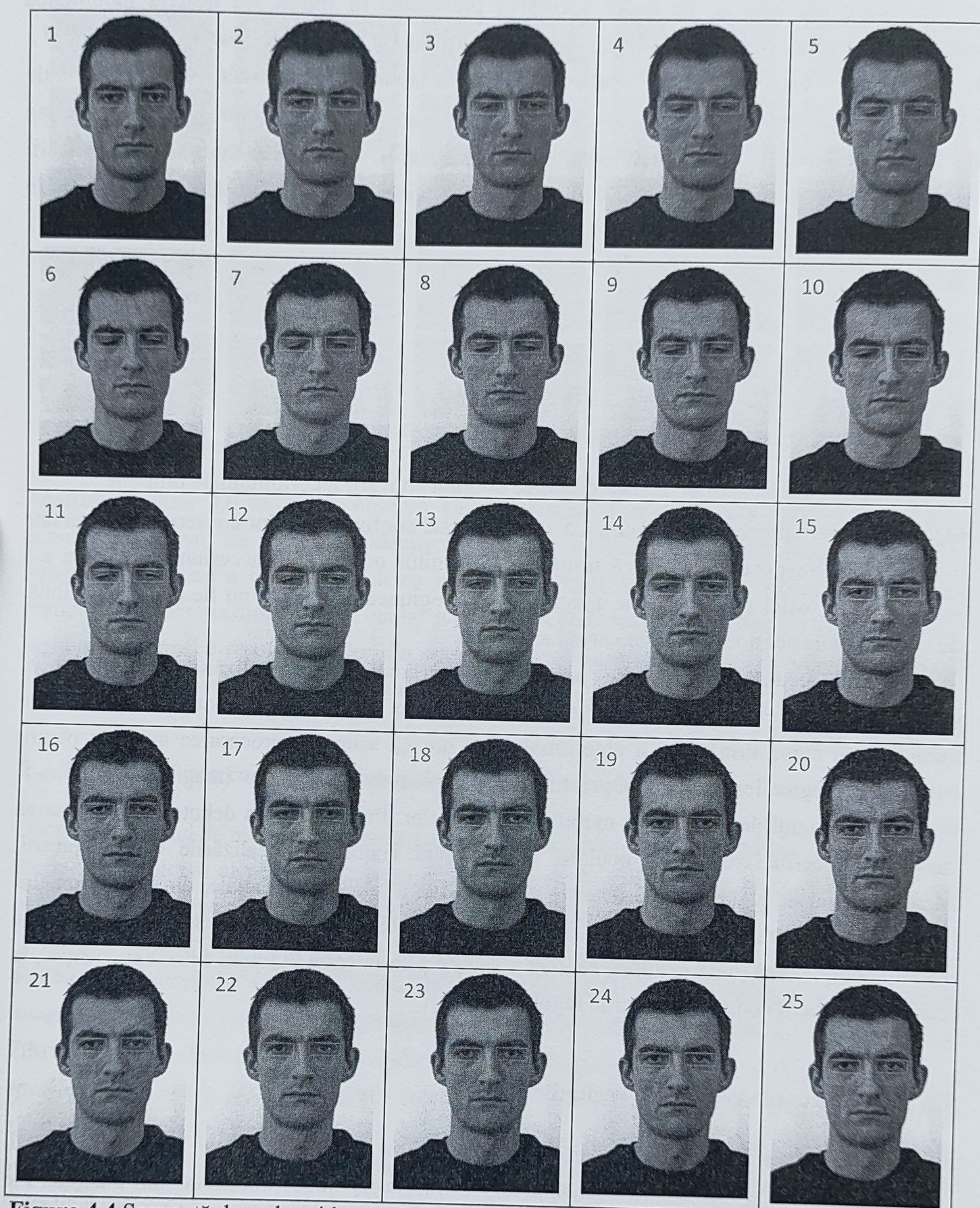
**Figura 4.2** Identificarea regiunilor oculare conform parametrilor determinați de către algoritmul de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale: (a) parametrii de interes, (b) detecția chipului și a caracteristicilor faciale, (c) inițializarea procesului de urmărire a sprâncenelor și determinarea regiunilor oculare



**Figura 4.3** Organigrama de funcționare a algoritmului de măsurare a mobilității pleoapelor



Figura 4.4 prezintă o succesiune de cadre video ce descriu procesul de clipire al subiectului uman, în care s-a realizat urmărirea localizării sprâncenelor și determinarea regiunilor oculare.



**Figura 4.4** Secvență de cadre video ce descriu clipitul subiectului, în care s-a realizat urmărirea localizării sprâncenelor și determinarea regiunilor oculare

Succesiunea de imagini prezentă în figura 4.4. exemplifică modul de funcționare al algoritmului de urmărire a poziției sprâncenelor și determinarea regiunilor oculare pentru fiecare imagine.



Secvențele video utilizate pentru monitorizarea mobilității oculare au fost achiziționate cu o rezoluție de 480x640 pixeli și o frecvență de eșantionare de 90 cadre pe secundă.

În consecință, cele 25 de cadre succesive prezentate în figura 4.4 descriu mobilitatea regiunilor oculare pe parcursul a 277 ms. Conform cu figura 4.4, se poate observa că algoritmul a determinat cu precizie a regiunilor oculare, atunci când subiectul monitorizat clipește. Regiunile oculare a căror localizare se realizează pentru fiecare cadru imagine sunt apoi supuse algoritmului de măsurare a mobilității pleoapelor. Regiunile oculare rezultate, în urma aplicării algoritmului de urmărire asupra cadrelor consecutive prezentate în figura 4.4, sunt descrise în figura 4.5.



**Figura 4.5** Regiunile oculare rezultate în urma aplicării algoritmului de urmărire

Regiunile oculare prezentate în figura 4.5 sunt ordonate conform cadrelor consecutive prezentate în figura 4.4. Se poate observa că urmărirea regiunilor oculare în succesiunea de cadre s-a realizat precis, astfel nu au rezultat imagini în care regiunea oculară să nu fie complet vizibilă, sau dimensiunile acestora să nu fie corespunzătoare.

Regiunile oculare determinate prin urmărirea continuă a localizării sprâncenelor și actualizarea acestora, conform fiecărui cadru imagine din secvența video analizată, sunt prelucrate de etapa următoare a algoritmului, ce are ca scop pre-procesarea acestora pentru evidențierea regiunilor oculare. Operațiile de pre-procesare pregătesc imaginea pentru a fi analizată de stagiul de măsurare a mobilității pleoapelor. Pre-procesarea debutează cu rafinarea imaginilor specifice regiunilor oculare. Considerând cunoscute localizările ochilor umani, calculate inițial de algoritmul de detecție a chipului și a trăsăturilor faciale, din aceste imagini sunt extrase porțiunile în care sunt vizibile regiunile oculare descrise de marginile interioare și centrele ochilor. Imaginile rezultate sunt apoi filtrate prin intermediul unui filtru exponențial, în scopul evidențierii conturului specific regiunii oculare.

#### 4.3.1. Accentuarea vizibilității regiunilor oculare

Imaginile ce descriu regiunile oculare sunt filtrate prin intermediul unui filtru exponențial. Aplicarea acestuia are ca scop, îmbunătățirea vizibilității regiunilor întunecate din imagine. Fie  $I(x,y)$  imaginea reprezentată în nuanțe de gri și filtrul de procesare a imaginii, definit prin intermediul coeficienților  $\alpha=100$ ,  $\beta=0.08$ , imaginea filtrată  $F(x,y)$  este calculată conform relației (4.34).

$$F(x,y) = \alpha \left( \frac{I(x,y)}{\alpha} \right)^\beta \quad (4.34)$$



Aplicarea procedurii de filtrare utilizând filtrul exponențial descris de relația (4.34) asupra imaginilor regiunilor oculare, prezentate în figura 4.5 din care s-a realizat extragerea regiunilor de interes, are ca rezultat imaginile prezentate în figura 4.6.

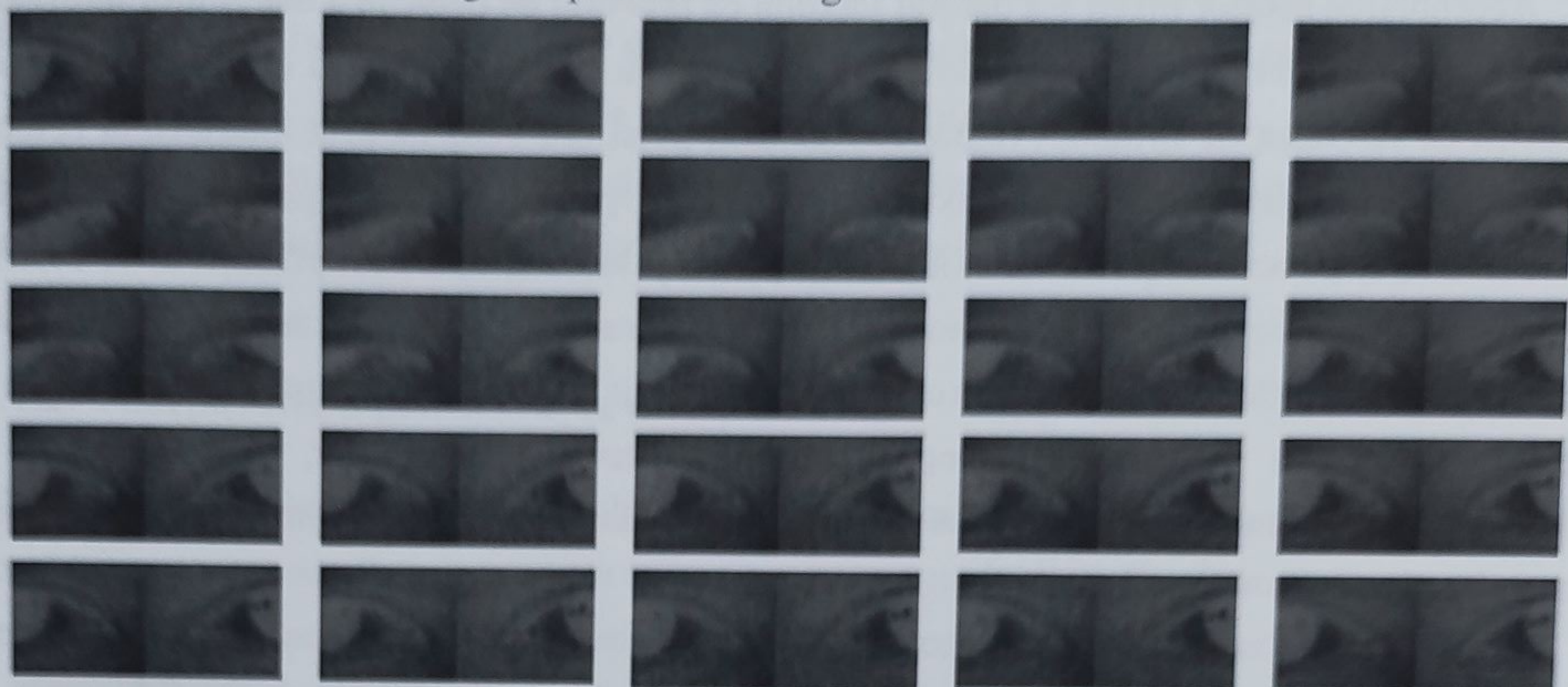


Figura 4.6 Regiunile oculare rezultate în urma filtrării

Analizând figura 4.6 se poate observa că prelucrarea imaginilor prin intermediul filtrului exponențial a avut ca rezultat evidențierea pixelilor ce descriu conturul ochiului. Conform structurii proiectate a filtrului pixeli ce sunt caracterizați de o culoare închisă, simbolizează regiunile de separație dintre globul ocular și pleoapa superioară. Accentuarea contrastului acestor regiuni în raport cu restul pixelilor din componența imaginii prezintă o importanță decisivă în procesul de măsurare a mobilității pleoapelor.

#### 4.3.2. Evidențierea conturului pleoapelor

Deoarece procesul de măsurare a mobilității constă în detecția cu precizie a liniei ce aproximează gradul de închidere al pleoapei, descrisă de mijlocul pleoapei superioare și colțul interior al ochiului, vizibilitatea pixelilor specifici regiunii de separație este hotărâtoare.

Separarea pixelilor ce descriu conturul pleoapelor este realizată prin aplicarea operatorului de detecție a marginilor Canny, [Canny,1986], [Bernod,2005]. Aplicarea acestui operator asupra imaginii s-a realizat cu următorii parametri definatorii  $\sigma = 0.99$ ,  $\tau_s = 0.96$ ,  $\tau_l = 0.70$ ,  $\omega = 13$ . Filtrul utilizat de către operatorul de evidențiere a marginilor este finit de  $\sigma = 0.99$ , parametru ce specifică coeficienții din componența ferestrei de filtrare de dimensiune  $\omega = 13$ . Parametrii  $\tau_s = 0.96$ ,  $\tau_l = 0.70$  specifică nivelele de prag superioare și inferioare prin intermediul cărora se selectează pixelii ce sunt considerați margini. Imaginile rezultate prin aplicarea operatorului de detecție a marginilor asupra secvențelor de imagini din figura 4.6 este prezentată în figura 4.7.

Conform acesteia, se poate observa detecția pixelilor ce definesc conturul regiunilor de separație dintre globul ocular și pleoapele superioare. De asemenea, se poate observa și detecția unor pixeli ce nu prezintă interes în cadrul procesului de măsurare a mobilității pleoapelor. Apariția acestor pixeli face dificilă aproximarea liniilor specifice pleoapelor prin intermediul



transformatei Hough. Apariția pixelilor cu caracter perturbator este evidentă în imaginile în care pleoapa superioară obturează parțial, sau complet, vizibilitatea globului ocular.

Accentuarea acestor pixeli s-a datorat faptului că procesul de detecție a marginilor utilizează o aproximare a derivatelor parțiale a imaginii în raport cu cele două direcții (x,y) în vecinătatea descrisă de fereastra de filtrare. Prelucrarea fiecărui pixel din imagine prin intermediul acestui procedeu are ca efect dezvoltarea pixelilor cu caracter perturbator. Desigur, un alt factor ce determină apariția acestor pixeli, este descris de prezența în imagine a unor pixeli reali ce descriu regiuni de separație dintre diferite nuanțe de culoare care nu sunt relevante în procesul de măsurare a mobilității oculare. Autorul a realizat o serie de studii experimentale, prin care a determinat valorile parametrice ale operatorului de detecție a marginilor, ca reprezentând o soluție de compromis în scopul reducerii influențelor menționate și evidențierii regiunilor de separație.



**Figura 4.7** Evidențierea pixelilor ce descriu conturul regiunilor de separație dintre ochi și pleoapa superioară

#### 4.4. Măsurarea mobilității regiunilor oculare

##### 4.4.1. Transformata Hough utilizată pentru detecția liniilor a căror orientare descrie mobilitatea pleoapelor

Măsurarea mobilității regiunilor oculare se efectuează utilizând transformata Hough [Ballard,1981]. Procedura consta în detectarea liniei ce unește colțul interior al ochiului cu mijlocul pleoapei superioare. Mobilitatea regiunilor oculare este caracterizată prin măsurarea orientării acestor linii, specifice fiecărui cadru imagine din secvențele video procesate.

Procedeul specific de identificare a liniei distincte ce descrie mobilitatea este influențat de vizibilitatea regiunii oculare. Eșantioanele rezultate prin măsurarea orientării liniilor de interes descriu pentru fiecare cadru de imagine poziția relativă a pleoapelor, ceea ce conduce la cunoașterea orientării pleoapelor pe întreaga durată a procesului de măsurare. Funcționarea transformatei Hough constă în parametrizarea liniei de interes, considerând parametrii  $r$  și  $\theta$ .



Parametrul  $r$  reprezintă distanța între linie și originea sistemului de coordonate, iar parametrul  $\theta$  definește unghiul format de către vectorul  $r$  perpendicular pe linie, având ca referință centrul sistemului de coordonate [Duda,1972]. Unghiul  $\theta$  ce definește orientarea are valori în intervalul  $[0,180]$  de grade. Linia de interes este descrisă în mod parametric, conform relației (4.35).

$$r = x * \cos\theta + y * \sin\theta \quad (4.35)$$

Considerăm în continuare mulțimea de linii ce pot trece prin punctul  $P_i$  ca un set de curbe sinusoidale în spațiul Hough notat  $H(r, \theta)$ , descrise conform relației (4.35).

#### 4.4.2. Funcționarea algoritmului de detecție a liniilor

Algoritm de detecție a liniilor analizează posibilitatea ca fiecare pixel din imagine să fie considerat ca un punct  $P_i$ , prin care pot trece una sau mai multe linii. Finalitatea algoritmului este de a determina parametrii  $(r, \theta)$  ce specifică linia care trece prin numărul maxim de puncte  $P_i$ .

Organigrama de implementare a transformatei Hough pentru detecția liniilor este descrisă în Figura 4.8. Procedura de detecție a liniilor specifice pleoapelor din imaginea inițială  $I(x,y)$ , de dimensiuni  $m,n$ , debutează cu estimarea parametrului  $x$ . Acesta reprezintă valoarea maximă pe care o poate avea distanța  $r$  relativ la originea sistemului de coordonate. Estimarea este realizată calculând dimensiunea maximă pe care o are imaginea de intrare  $I(x,y)$ ,  $M=\max(m,n)$  și apoi determinând  $x = 2M\sqrt{2}$ . Este determinat apoi spațiul Hough de dimensiuni  $H\left(\frac{x}{\alpha}, \beta\right)$ , conform cu rezoluția corespunzătoare lui  $r$  notată  $\alpha$ , și numărul de diviziuni de măsurare a unghiului  $\theta$ , prescrisă de  $\beta$ . Valorile utilizate pentru acești parametri au fost  $\alpha=1$ ,  $\beta = 90$ . Acestea precizează rezoluția de un pixel corespunzătoare lui  $r$ , și cea de două grade specifică orientării  $\theta$ .

Spațiul este apoi actualizat cu valoarea zero  $H\left(\frac{x}{\alpha}, \beta\right) = 0$ . Următoare etapă constă în calculul vectorului  $\vartheta(\beta)$  ce descrie posibilele valori pe care le poate lua orientarea  $\theta$ , măsurată în imaginea de interes. Urmează apoi procedura de votare a posibilelor linii din imagine. Conform acesteia pixelii din imaginea inițială sunt comparați cu o valoare de prag  $p=235$ , stabilită pentru a identifica pixelii din imagine ce descriu marginea de separație dintre două regiuni. În cazul acestui algoritm pixelii descriu marginea de separație dintre globul ocular și pleopa superioară. Dacă valoare pixelilor îndeplinește condiția  $I(x,y) \geq p$ , atunci aceștia sunt procesați în continuare conform procedurii. În situația în care pixelul nu îndeplinește condiția, algoritmul lasă nemodificat spațiul Hough și trece la evaluarea următorului pixel. Corespunzător cazului în care pixelul îndeplinește condiția este determinată valoarea lui  $r$ , și actualizată valoarea acesteia în matricea de votare la poziția corespunzătoare pixelului ce a îndeplinit condiția impusă. Matricea de votare definită de spațiul Hough este utilizată pentru a identifica pixelii prin care trec linii. Dacă un pixel a fost identificat ca aparținând unei drepte, valoarea lui din tabelul de votare este incrementată. Astfel după prelucrarea tuturor pixelilor din imaginea inițială și votarea lor în tabel, acesta va conține informația referitoare la toate dreptele din imagine, implicit la pozițiile pixelilor prin care acestea trec. Pentru a determina linia de interes, în acest caz s-a identificat valoarea maximă conținută de tabelul de votare. Această valoare identificată de coordonatele din



spațiul Hough  $H(r, \theta)$ , descrie linia ce trece prin numărul cel mai mare de pixeli din imaginea analizată. Această linie are cea mai mare probabilitate să fie linia de interes ce descrie pleoapa subiectului. Odată identificată linia de interes sunt calculate valorile definatorii din relația (4.35).

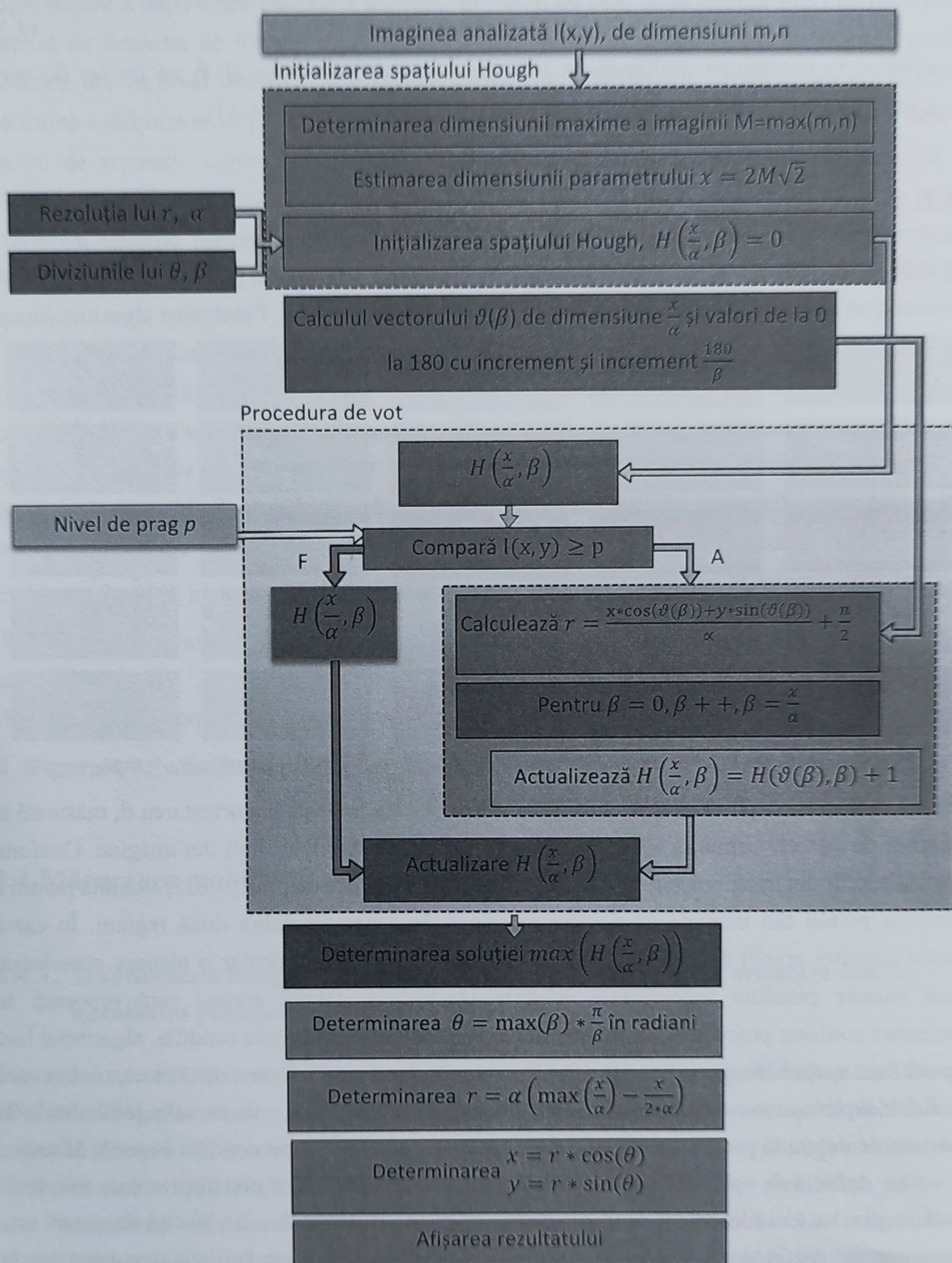


Figura 4.8 Organigrama de implementare a transformatei Hough



Rezultatele procesului de detecție a liniilor sunt afișate prin suprapunerea peste imaginea originală. Conform procedurii de detecție, sunt prezentate în figura 4.9 rezultatele procesării secvențelor de imagini din figura 4.7, în scopul determinării liniilor specifice pleoapelor.



**Figura 4.9** Rezultatele algoritmului de detecție a liniilor specifice pleoapelor

Conform figurii, se poate observa rezultatul aplicării algoritmului de detecție a liniilor specifice pleoapelor. Rezultatele detecției sunt evidențiate prin intermediul liniilor de culoare gri. Parametrul de interes în acest caz este descris de orientarea  $\theta$ , ce descrie unghiul dintre direcția orizontală și vectorul normal  $r$  pe linia detectată. Orientarea este utilizată pentru calculul gradului de închidere a pleoapelor, descris de unghiul  $\alpha$ .

#### 4.4.3. Măsurarea mobilității pleoapelor

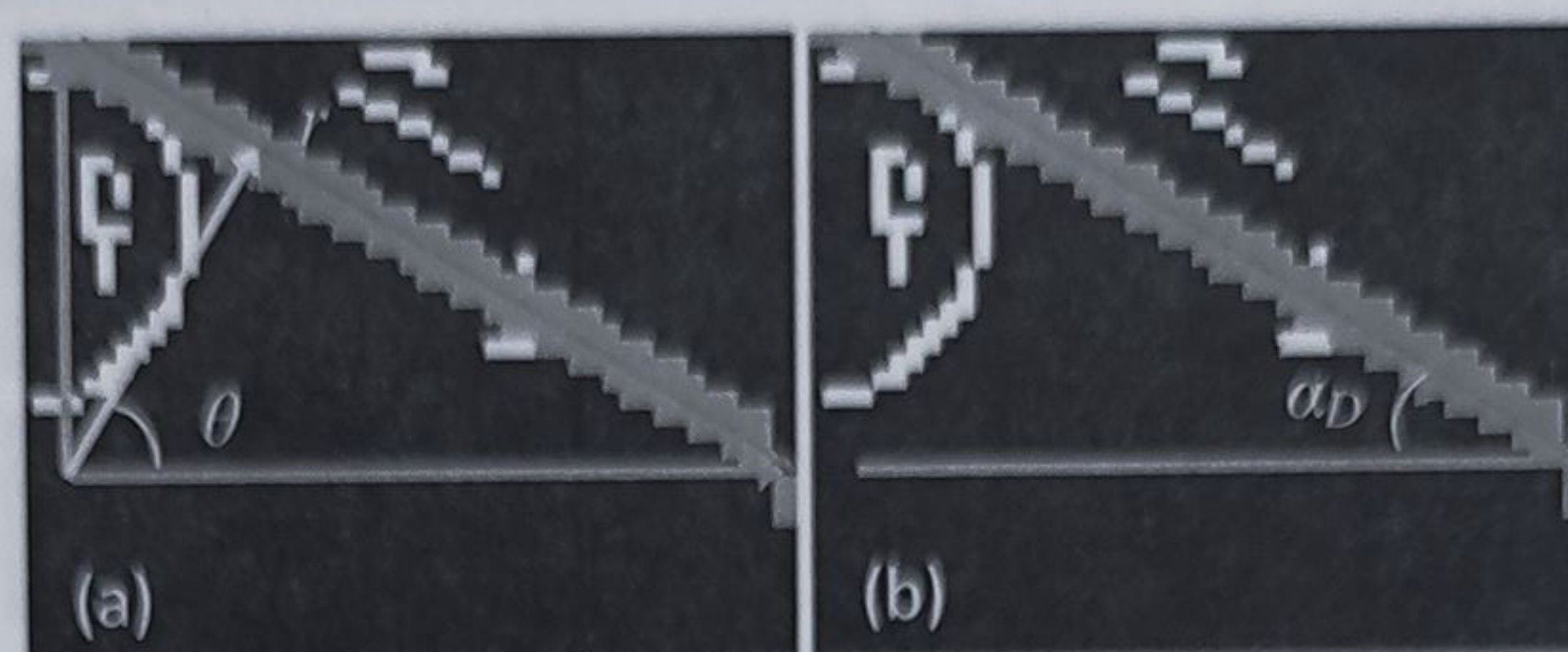
Mobilitatea pleoapelor este descrisă de variația unghiului de orientare a acestora, pe parcursul secvenței video analizate. Unghiul de orientare a pleoapelor descrie în mod concret variația de poziție a pleoapelor și prezintă modul în care aceasta evoluează pe parcursul procesului de clipit. Orientarea  $\alpha$ , caracteristică gradului de închidere a pleoapelor, este calculată utilizând orientarea  $\theta$  a liniilor detectate prin aplicarea algoritmului, conform relației (4.36).

$$\begin{aligned} \alpha_D &= \begin{cases} \alpha = 90 - \theta, \theta \in [0, 90) \cup (90, 180] \\ \alpha = 0, \theta = 90 \end{cases} \\ \alpha_S &= \begin{cases} \alpha = 180 - \theta, \theta \in [0, 90) \cup (90, 180] \\ \alpha = 0, \theta = 90 \end{cases} \end{aligned} \quad (4.36)$$

Principiul de măsurare a mobilității pleoapelor este exemplificat în figura 4.10. În figura 4.10 (a) se poate observa linia determinată prin algoritmul de detecție ce folosește transformata Hough, simbolizată folosind culoarea roșie. De asemenea au fost reprezentați parametrii ce descriu această linie, vectorul normal  $r$  și orientarea  $\theta$ . În figura 4.10 (b) este prezentat unghiul de orientare a pleoapei  $\alpha_D$ , calculat conform relației (4.36). Algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor realizează prelucrarea ambelor imagini ce descriu regiunile oculare, pentru a calcula orientarea pleoapelor. Procesul de măsurare are ca rezultat pentru fiecare cadru al secvenței

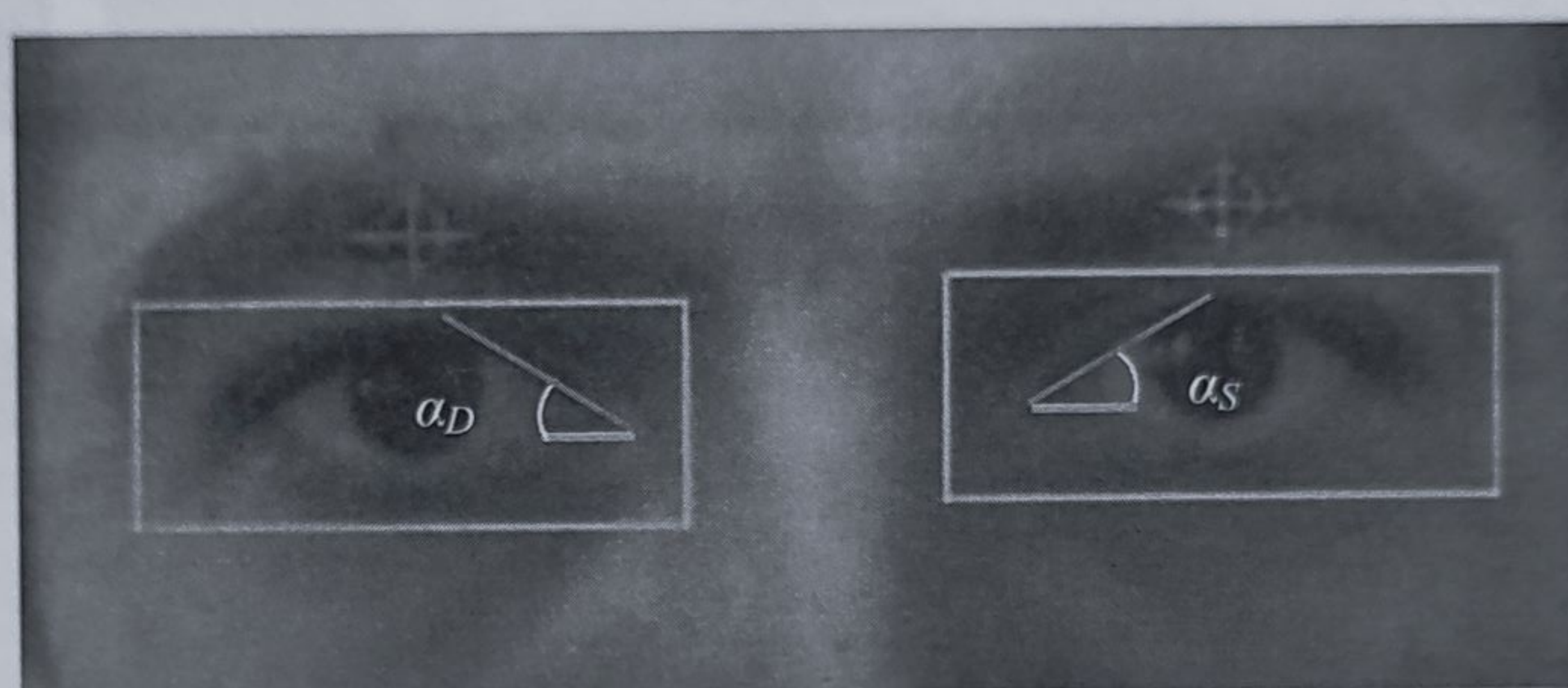


video analizate două valori  $\alpha_D, \alpha_S$ , ce descriu orientarea pleoapelor rezultată prin procesarea regiunilor oculare de interes.



**Figura 4.10** Măsurarea unghiului de orientare a pleoapei: (a) parametrii ce descriu linia specifică, (b) unghiul de orientare a pleoapei

Aplicarea algoritmului de măsurare a mobilității pleoapelor, pentru o imagine din cadrul secvenței video analizate, poate fi rezumată prin imaginea prezentată în figura 4.11.



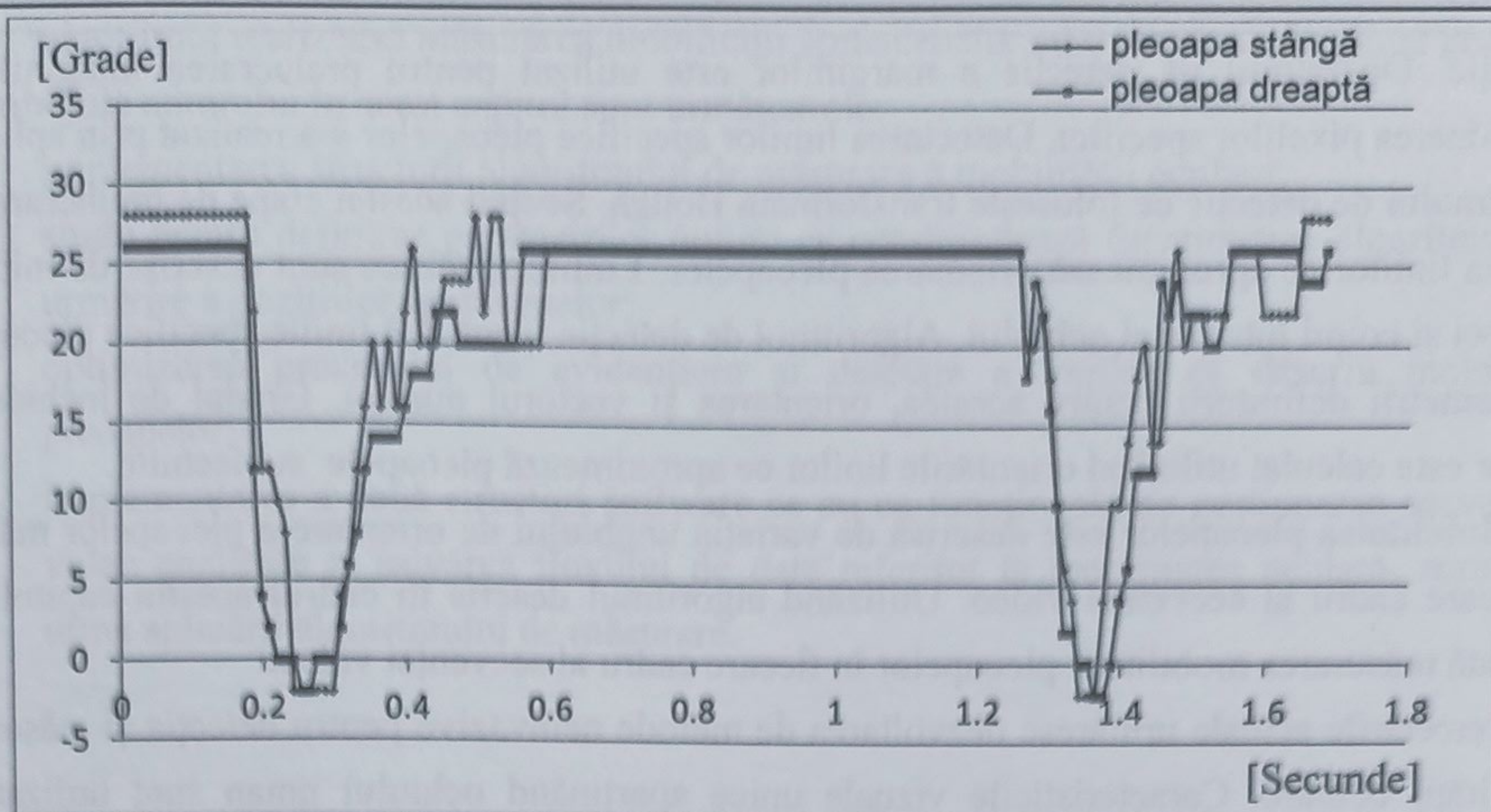
**Figura 4.11** Rezultatul aplicării algoritmului de măsurare, asupra unei imagini din cadrul secvenței video

Analizând imaginea prezentată în figura 4.11, se pot observa principalele etape ale algoritmului de măsurare. Rezultatul primei etape, ce are ca scop urmărirea localizării sprâncenelor este reprezentată prin intermediul indicatorilor de culoare roșie. Regiunea oculară determinată de următoarea etapă, și a cărei localizare în imagine, este actualizată în funcție de poziția sprâncenelor și a fost simbolizată cu dreptunghiurile de culoare verde.

Imaginile ce descriu aceste două regiuni oculare sunt prelucrate separat de către etapele de filtrare și evidențiere a conturului pleoapelor. Imaginile rezultate în urma procesului de evidențiere a conturului pleoapelor sunt prelucrate individual de algoritmul de detecție a liniilor. Algoritmul determină orientările  $\theta$ , ce orientează vectorul normal  $r$  perpendicular pe dreapta de interes. Orientările  $\alpha_D, \alpha_S$ , descriu gradul de închidere a pleoapelor în cadrul imaginii analizate.

Mobilitatea pleoapelor este descrisă de variația acestor două orientări măsurate în cadrele de imagine din componența secvenței video. În figura 4.12 sunt prezentate rezultatele măsurării mobilității pleoapelor corespunzătoare unui interval de 1.68, secunde ce au fost determinate prin prelucrarea a 153 de imagini din secvența video. Analizând figura 4.12, se poate observa că în acest caz, atunci când subiectul are ochii deschiși, pleoapele au o orientare de aproximativ 30 de grade. În momentul când acesta clipește, pleoapele își modifică orientarea conform unei tendințe descendente. În momentul când pleopa ajunge în poziția inferioară, ochiul uman este complet





**Figura 4.12** Măsurări privind mobilitatea pleoapelor superioare

închis și orientarea acestuia are o valoare de  $-4$ , grade considerând ca referință direcția orizontală. Etapa de deschidere a ochilor este descrisă de tendința crescătoare prezentată de orientarea pleoapelor. Creșterea se realizează până în momentul în care pleoapa ajunge în poziția superioară. De asemenea, se pot observa timpii caracteristici procesului de clipit. Aceștia au fost descriși prin conversia poziției imaginii din secvența, video în interval de timp, cunoscând timpul necesar achiziției unui imaginii.

#### 4.5. Rezumat și concluzii generale asupra capitolului

Scopul acestui capitol a fost descrierea modului în care s-a realizat măsurarea mobilității oculare. Algoritmul realizează detecția inițială a chipului uman și a localizării ochilor și a sprâncenelor în imagine, prin aplicarea metodei de detecție descrisă în capitolul trei.

Detecția s-a realizat prin prelucrarea primelor cadre componente ale secvenței video analizate. În urma acesteia sunt determinate pozițiile ochilor, sprâncenelor, orientarea chipului și distanța dintre ochi. Utilizând acești parametri sunt calculate regiunile oculare de interes. Localizarea în imagine a sprâncenelor este considerată ca referință fiabilă pentru determinarea regiunilor de interes.

Urmărirea pozițiilor este realizată prin intermediul algoritmului piramidal de urmărire Lucas-Kanade. Algoritmul utilizează localizarea inițială a sprâncenelor pentru a începe procedura de urmărire. Conform structurii de urmărire este determinat fluxul optic din vecinătatea punctelor de interes, folosind o fereastră de integrare. Valoarea fluxului optic este utilizată pentru calculul deplasării pozițiilor urmărite între două cadre consecutive. Pozițiile actualizate ale sprâncenelor sunt folosite pentru a calcula localizarea regiunilor oculare. Imaginile regiunilor oculare sunt supuse unui proces de filtrare, ce are rolul de evidențiere a regiunilor de separație dintre globul ocular și pleoape.

Etapa de filtrare realizează accentuarea pixelilor ce descriu pleoapele. Imaginile rezultate în urma acestui proces sunt apoi prelucrate pentru detecția pixelilor ce descriu efectiv marginile de



separație. Operatorul de detecție a marginilor este utilizat pentru prelucrarea imaginilor și determinarea pixelilor specifici. Detectarea liniilor specifice pleoapelor s-a realizat prin aplicarea algoritmului de detecție ce folosește transformata Hough. Scopul acestei etape de prelucrare este detecția liniilor ce aproximează orientarea pleoapelor. Liniile specifice sunt descrise de mijlocul pleoapei și colțul interior al ochiului. Algoritmul de detecție identifică liniile specifice pleoapelor și parametrii definatorii pentru acestea, orientarea și vectorul normal. Gradul de închidere a ochilor este calculat utilizând orientările liniilor ce aproximează pleoapele subiectului.

Mobilitatea pleoapelor este descrisă de variația unghiului de orientare a pleoapelor măsurat în fiecare cadru al secvenței video. Utilizând algoritmul descris în cadrul acestui capitol este realizată măsurarea mobilității pleoapelor în fiecare cadru al secvenței video.

Cercetările actuale urmăresc dezvoltarea de metode neinvazive pentru detecția și măsurarea mobilității oculare. Caracteristicile vizuale unice aparținând ochiului uman sunt utilizate în cadrul sistemelor digitale de procesare a imaginilor ce au ca scop: detecția și recunoașterea feței umane, recunoașterea expresiilor faciale. Principalii factori ce influențează măsurarea mobilității regiunilor oculare sunt: suprapunerea pleoapelor peste iris, gradul de deschidere a pleoapelor, variații ale nivelului de segmentare și gradul de reflexie a ochilor, poziția relativă a capului și gradul de reflexie al zonelor din vecinătatea ochilor. Autorul a implementat un algoritm capabil să măsoare mobilitatea regiunilor oculare luând în considerare factorii perturbatori enumerați.

Componenta dinamică ce caracterizează mobilitatea este constituită din mișcări foarte rapide a pleoapelor în planul transversal. Un întreg proces de clipit are o durată de zeci până la sute de milisecunde, iar mișcările involuntare ale pleoapelor au o durată de câteva zeci de milisecunde.

Mobilitatea ridicată specifică pleoapelor, implică achiziționarea de secvențe video ce monitorizează aceste procese cu o viteză și rezoluție îndeajuns de mare pentru a permite analizarea cu precizie a mobilității.

Autorul a folosit pentru măsurarea mobilității pleoapelor secvențe video achiziționate cu o rezoluție de 480x640 pixeli și un număr de 90 de cadre pe secundă. Timpul necesar achiziției unei imagini a fost de 11 milisecunde, valoare ce a permis eșantionarea procesului de clipit cu un număr ridicat de cadre de imagine

Cercetările legate de dezvoltarea acestui algoritm de măsurare, a avut ca țintă dezvoltarea unui sistem de monitorizare și măsură a parametrilor ce caracterizează clipitul subiectului uman.

Concluziile ce se desprind din acest capitol sunt următoarele:

- detecția caracteristicilor faciale pune la dispoziția algoritmului de măsurare a mobilității localizarea precisă a sprâncenelor;
- algoritmul de urmărire calculează deplasarea pozițiilor sprâncenelor dintre două cadre succesive, în situațiile în care subiectul uman nu are o poziție fixă în imagine;
- regiunile oculare de interes, ce dețin informații capabile să descrie mobilitatea pleoapelor, sunt determinate cu precizie în fiecare cadru al secvenței video, ținând cont de pozițiile sprâncenelor furnizate de algoritmul de urmărire;
- mobilitatea pleoapelor este măsurată în fiecare cadru al secvenței video prin prelucrarea individuală a imaginilor ce definesc regiunile oculare;



- algoritmul realizează măsurarea mobilității sprâncenelor cu o rezoluție de două grade.

Contribuțiile autorului în acest capitol sunt următoarele:

- implementarea structurii algoritmului de măsurare a mobilității oculare;
- studii pentru definirea parametrilor optimi ce condiționează funcționarea algoritmului de urmărire a pozițiilor sprâncenelor;
- optimizarea procesului de evidențiere și detecție a liniilor ce descriu mobilitatea pleoapelor;
- implementarea a două structuri software ce au ca funcționalitate gestionarea secvențelor video analizate și salvarea fluxului de date referitor la mobilitatea oculară, rezultat în urma aplicării algoritmului de măsurare.

## CAPITOLUL 5

### Rezultate experimentale privind monitorizarea și măsurarea mobilității regiunilor oculare

---

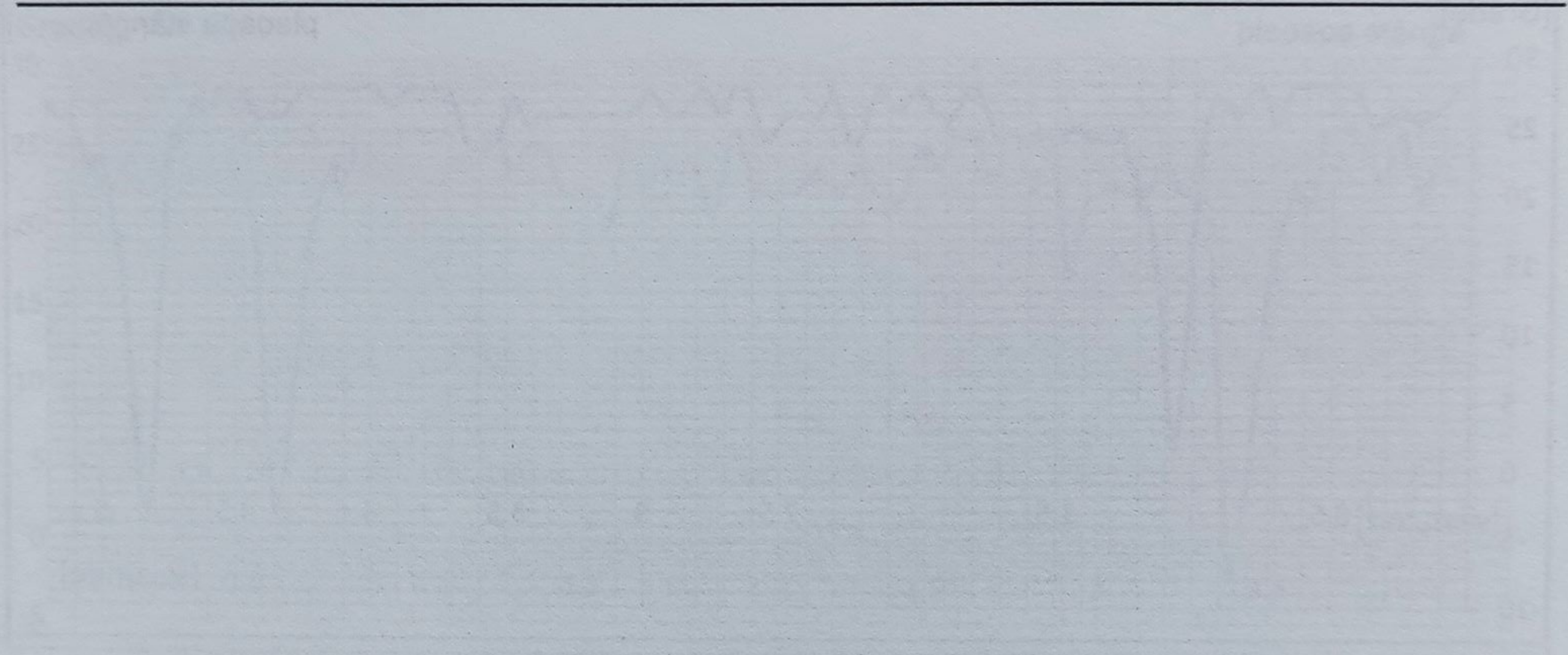


---

## CAPITOLUL 5

### Rezultate experimentale privind monitorizarea și măsurarea mobilității regiunilor oculare

---



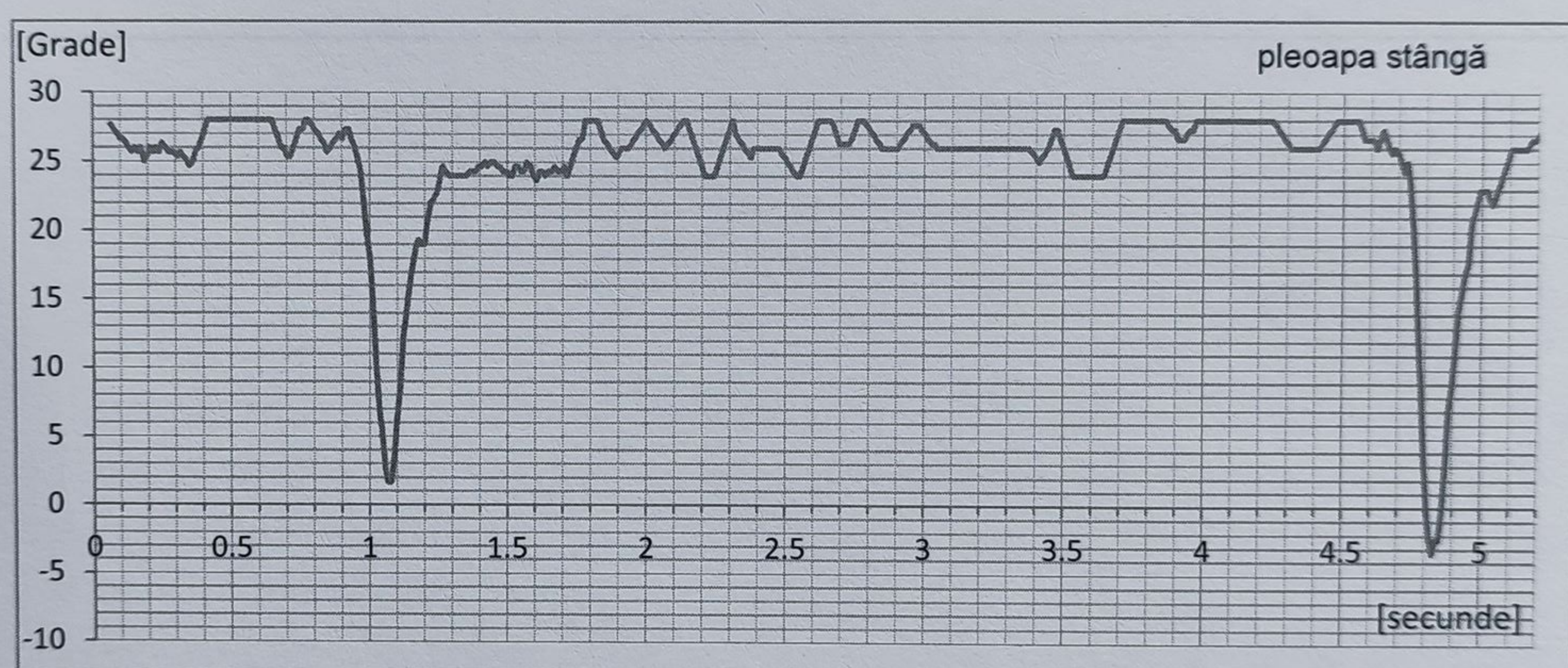


### 5.1. Rezultate experimentale privind măsurarea mobilității pleoapelor

Măsurarea mobilității pleoapelor prin aplicarea algoritmului de procesare a imaginilor asupra secvențelor video a avut ca rezultat o succesiune de date ce descriu orientările pleoapelor rezultate prin procesarea individuală a cadrelor video.

Pentru a exemplifica rezultatele procesului de măsurare, sunt prezentate în continuare secțiuni reprezentative extrase din rezultatele obținute de către procesul de măsurare a mobilității pleoapelor, corespunzătoare subiectului numărul cinci și aferente celor șase situații experimentale. Prin intermediul acestor grafice autorul dorește să prezinte particularitățile regăsite în mobilitatea pleoapelor specifice subiectului numărul cinci, măsurate corespunzător celor șase situații experimentale.

Reprezentarea rezultatelor măsurărilor efectuate de algoritm a fost realizată sub forma unui grafic de variație a orientării liniei specifice ce descrie mobilitatea pleoapelor în intervalul timpului de măsurare. Deoarece orientarea pleoapelor este măsurată în fiecare cadru al secvenței video, reprezentarea valorilor măsurate prin intermediul timpului de măsurare este realizată convertind indexul imagini din cadrul secvenței video în timp, cunoscând perioada de eșantionare de 11 ms specifică ratei de achiziție a secvențelor video de 90 cadre pe secundă.

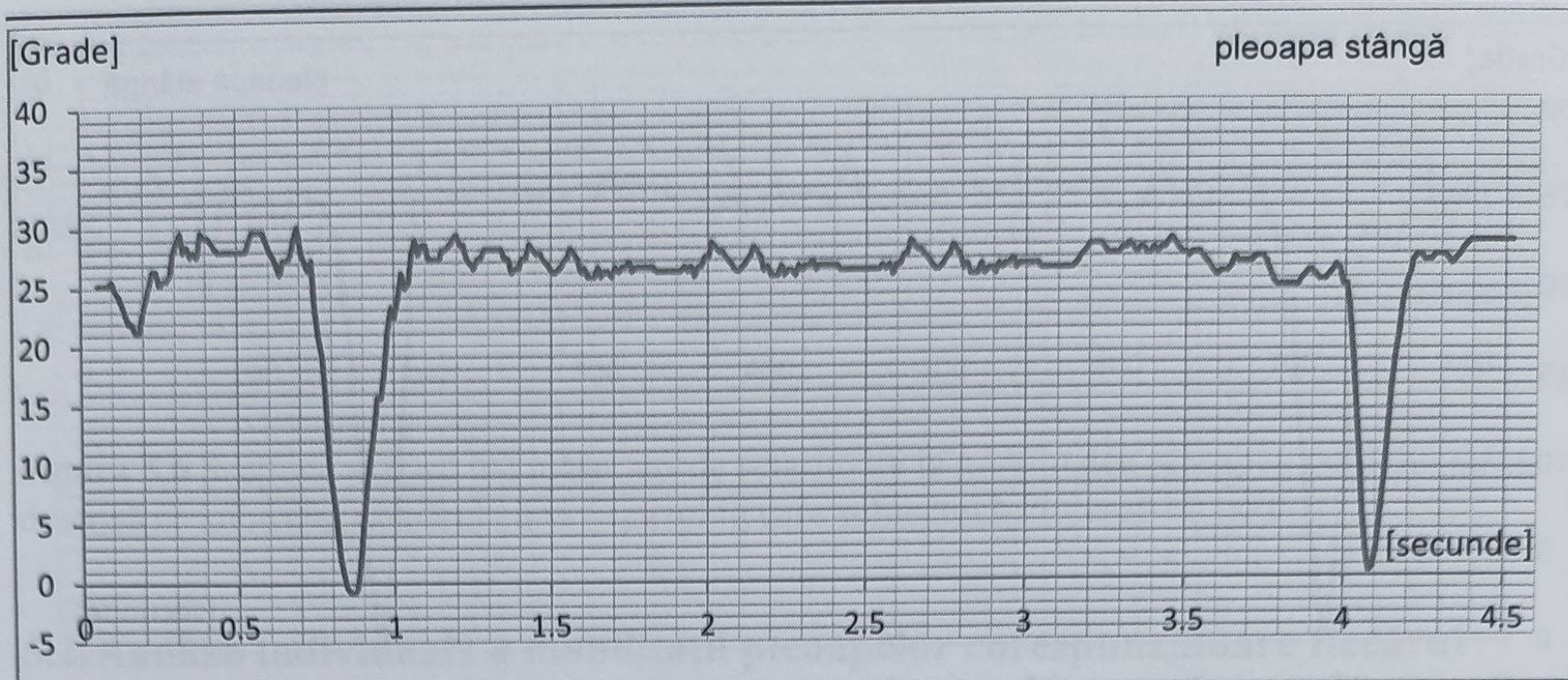


**Figura 5.1** Secțiunea extrasă din măsurătorile referitoare la mobilitatea pleoapei ochiului stâng descrisă de subiectul numărul cinci în cazul focalizării privirii asupra unui punct fix

Figura 5.1 prezintă o porțiune din valorile orientării pleoapei specifice subiectului cinci măsurate în cazul experimental în care acesta își focalizează privirea asupra unui punct fix. Analizând această figură, se poate observa un interval de timp între clipiri de 3750 ms, o valoare a timpului de închidere a pleoapelor de 134 ms și un timp de deschidere a pleoapelor de 198 ms.

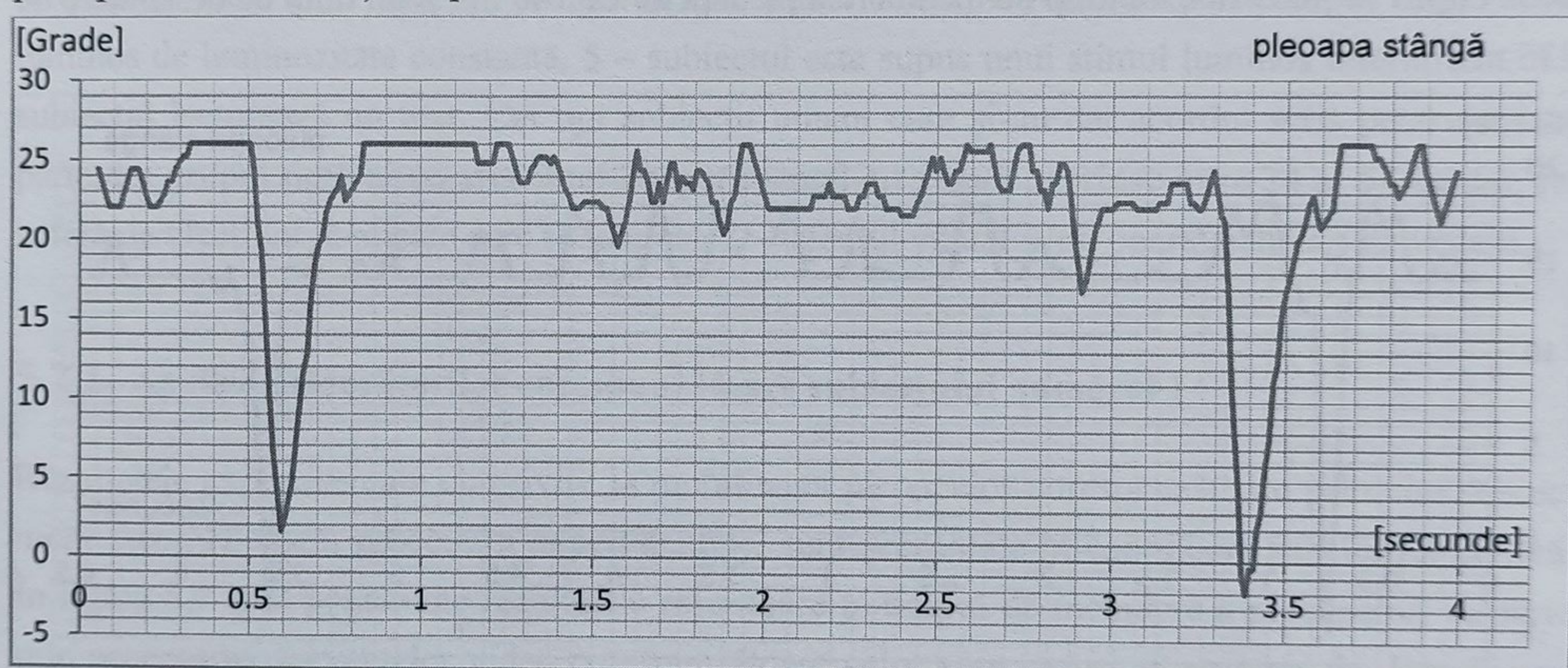
Corespunzător cazului experimental în care subiectul își orientează liber privirea figura 5.2 prezintă o porțiune din valorile măsurate ale mobilității pleoapelor. Analizând această figură se poate identifica intervalul de timp dintre două clipiri ale subiectului 3200 ms, timpul de închidere a pleoapelor de 100 ms și timpul de deschidere de 144 ms.





**Figura 5.2** Secțiune extrasă din măsurătorile referitoare la mobilitatea pleoapei ochiului stâng descrisă de subiectul numărul cinci în cazul orientării libere a privirii

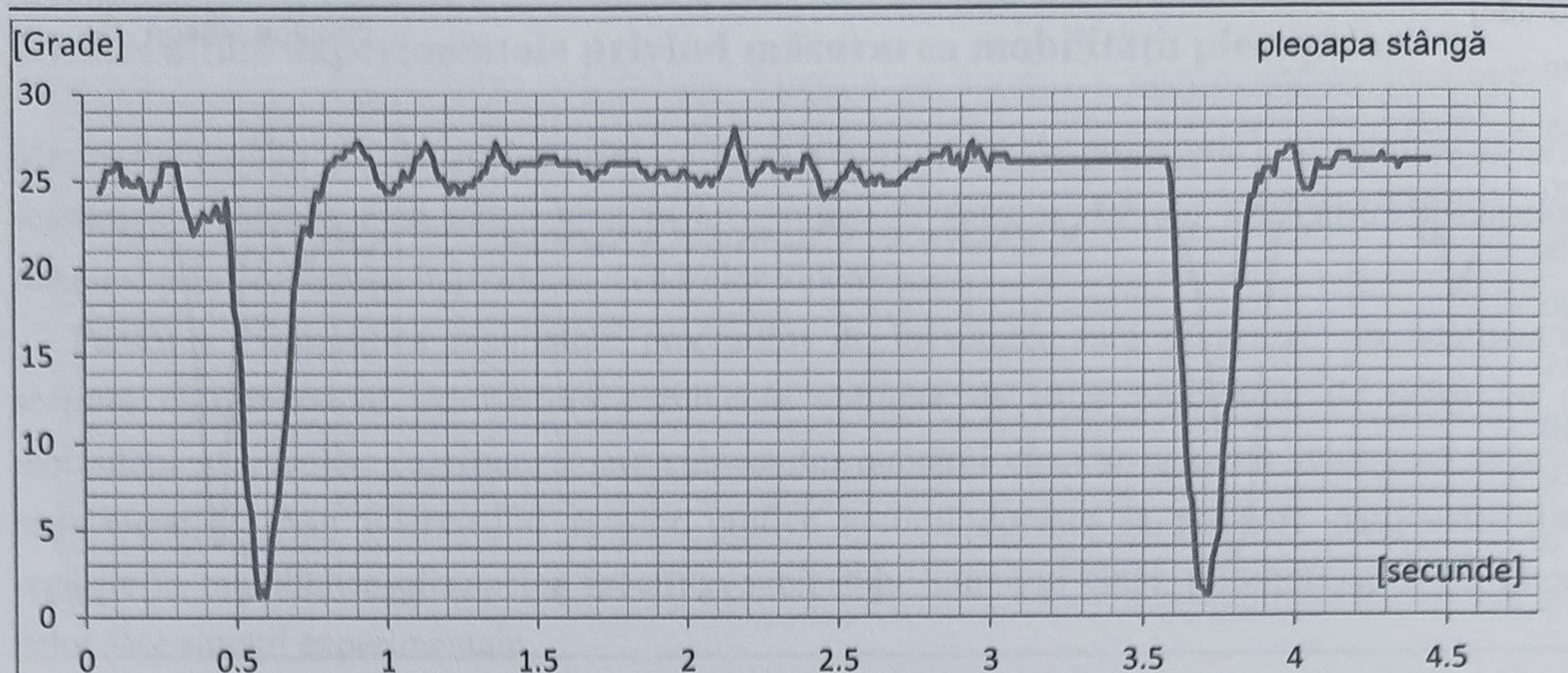
Mobilitatea măsurată a pleoapelor corespunzătoare situației experimentale în care subiectul urmărește un punct mobil este prezentată prin intermediul figura 5.3. În această figură este exemplificată o secțiune din mobilitatea pleoapelor specifică acestui caz. În această figură se poate observa intervalul dintre două clipiri ale subiectului de 2744 ms, timpul de închidere a pleoapelor de 110 ms și timpul de deschidere cu valoarea de 220 ms.



**Figura 5.3** Secțiune extrasă din măsurătorile referitoare la mobilitatea pleoapei ochiului stâng descrisă de subiectul numărul cinci în cazul urmăririi unui punct mobil

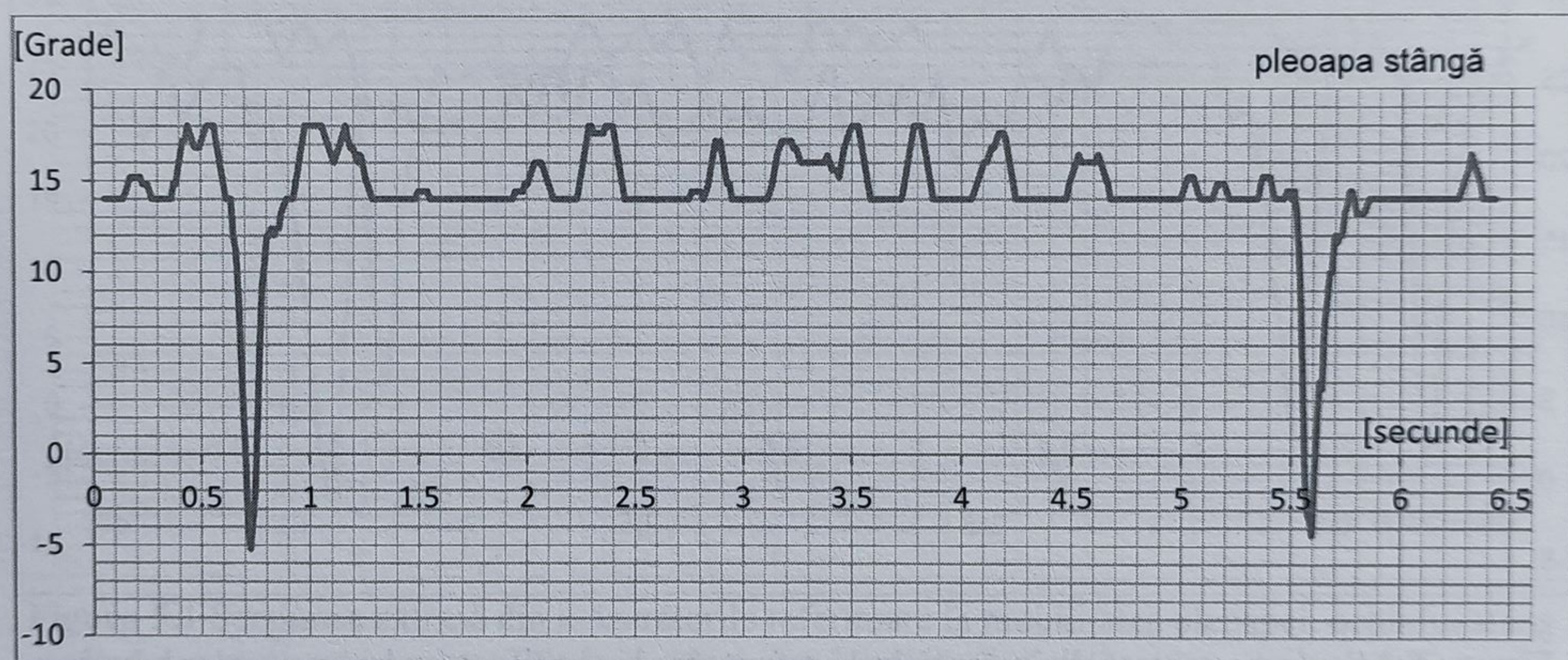
Figura 5.4, exemplifică mobilitatea pleoapelor exercitată de subiectul numărul cinci corespunzător cazului experimental în care subiectul uman este supus unui stimul luminos caracterizat de o luminozitate constantă. Rezultatele măsurătorilor prezintă un interval de timp între două clipiri de 3100 ms, un timp de închidere a pleoapelor de 100 ms și un timp de deschidere de 320 ms.





**Figura 5.4** Secțiune extrasă din măsurătorile referitoare la mobilitatea pleoapei ochiului stâng descrisă de subiectul numărul cinci în cazul în care subiectul este supus unui stimul luminos de luminozitate constantă

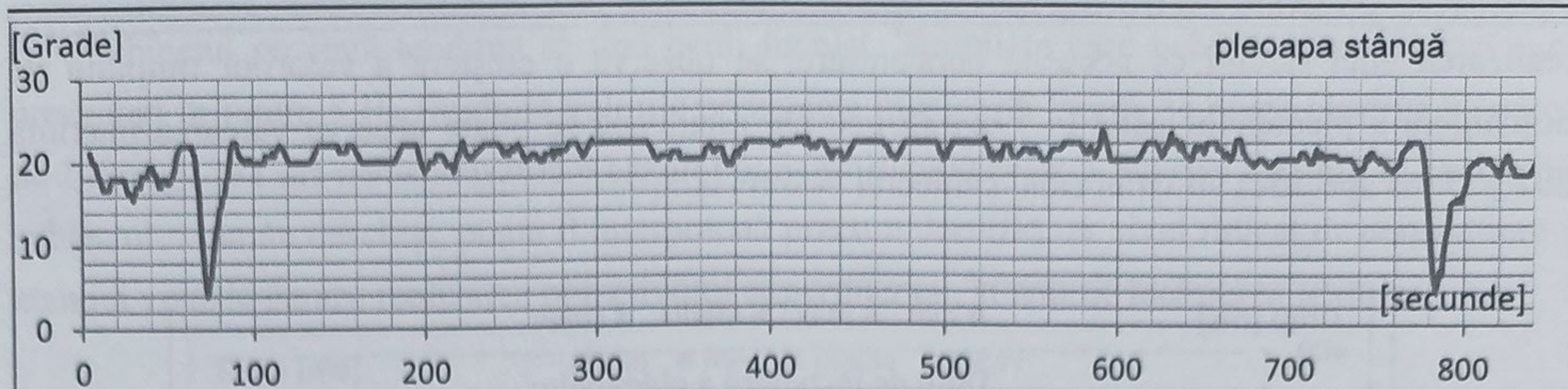
Mobilitatea pleoapelor corespunzătoare cazului experimental în care subiectul este supus unui stimul luminos de luminozitate variabilă este descrisă de figura 5.5. Analizând rezultatele procesului de măsurare prezentate de această figură se poate observa un interval de timp dintre două clipiri de 4855 ms, un timp de închidere a pleoapelor de 140 ms și un timp de deschidere de 235 ms.



**Figura 5.5** Secțiune extrasă din măsurătorile referitoare la mobilitatea pleoapei ochiului stâng descrisă de subiectul numărul cinci în cazul în care subiectul este supus unui stimul luminos intermitent

Valorile obținute de către algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor corespunzător cazului experimental în care subiectul lecturează un text este exemplificată prin intermediul figura 5.6. Datele prezentate în această figură descriu un timp de închidere a pleoapelor de 140 ms, un timp de deschidere de 280 ms și un interval de timp între două clipiri de 720 ms.





**Figura 5.6** Secțiune extrasă din măsurătorile referitoare la mobilitatea pleoapei ochiului stâng descrisă de subiectul numărul cinci în cazul în care subiectul lecturează un text

## 5.2. Analiza individuală a mobilității pleoapelor corespunzătoare fiecărui subiect uman investigat

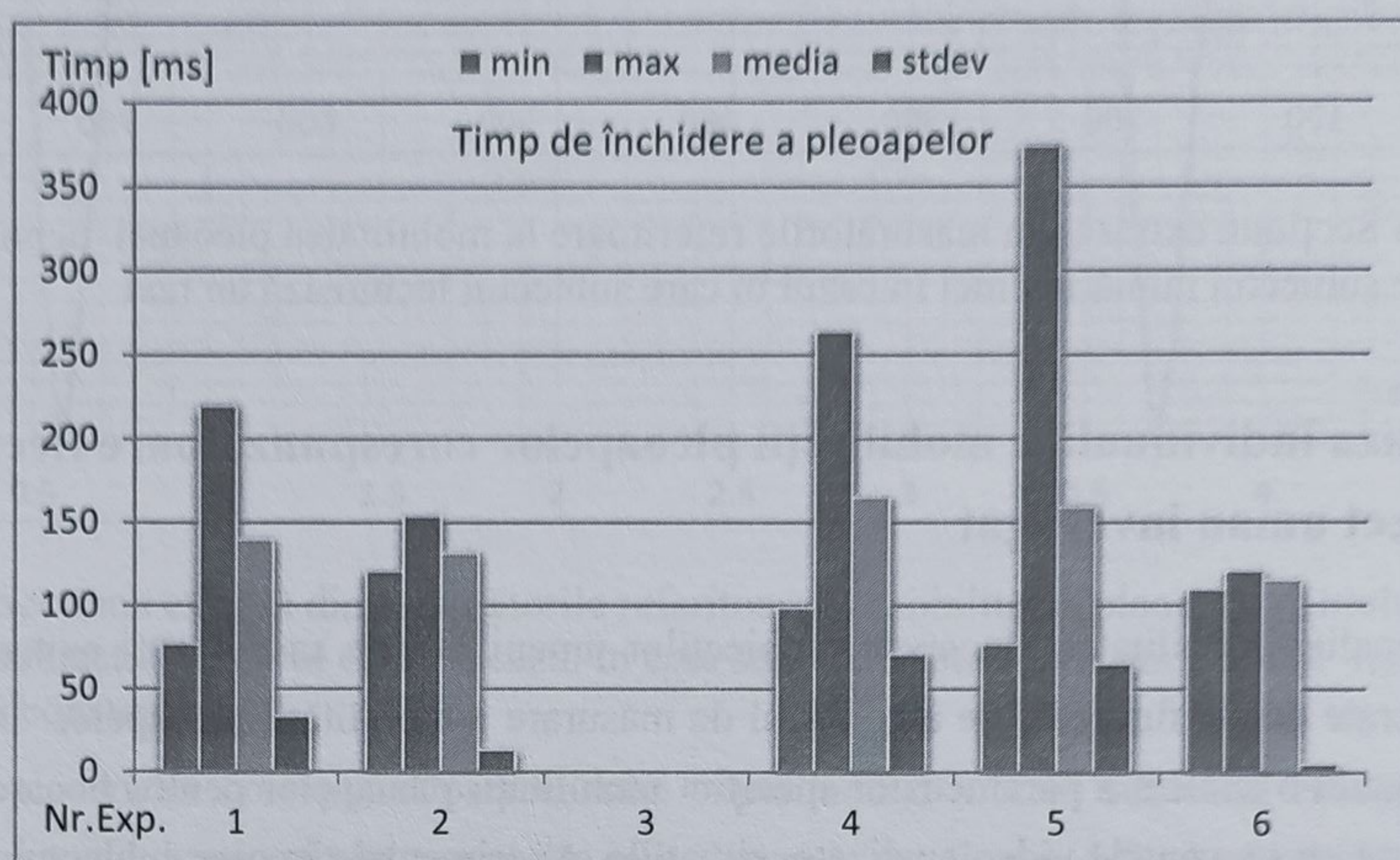
Pentru a analiza mobilitatea pleoapelor subiecților umani în cele șase cazuri experimentale au fost prelucrate datele furnizate de algoritmul de măsurare a mobilității pleoapelor. În continuare este prezentată o analiză a parametrilor specifici mobilității pleoapelor pentru fiecare subiect. În conformitate cu secvențele video analizate, situațiile experimentale în care subiectul uman a fost monitorizat sunt în continuare notate astfel: 1 - focalizarea privirii asupra unui punct fix, 2 - orientarea liberă a privirii, 3 - urmărirea unui punct mobil, 4 - subiectul este supus unui stimul luminos de luminozitate constantă, 5 - subiectul este supus unui stimul luminos intermitent, 6 - subiectul lecturează un text. Cei opt subiecții umani care și-au dat acordul scris pentru a face parte din grupul țintă al acestui studiu experimental au vârste cuprinse între 24 și 54 de ani, nu suferă de afecțiuni medicale care să le afecteze sistemul vizual și nu poartă ochelari de vedere.

### 5.2.1. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 1

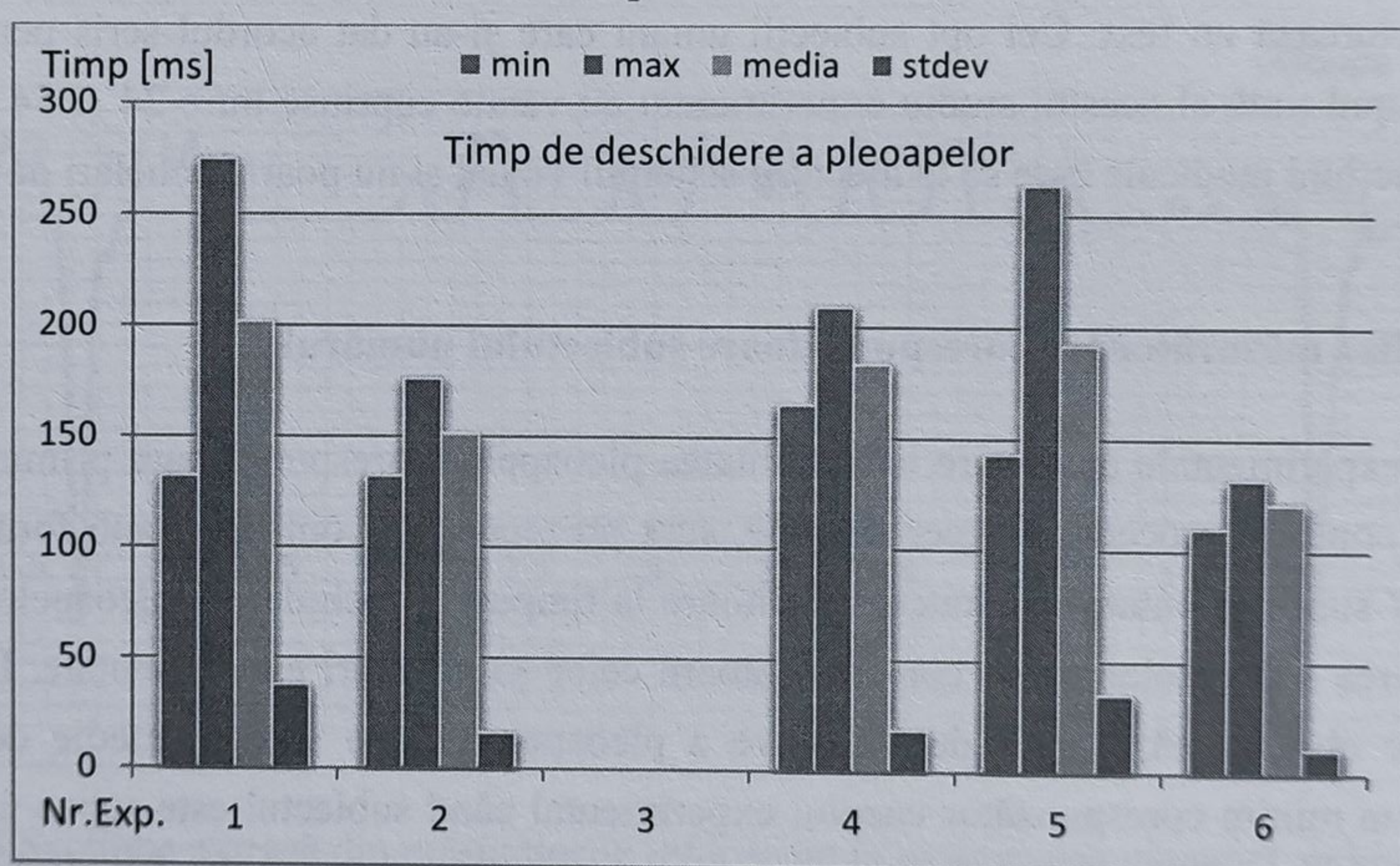
Rezultatele experimentale cu privire la mobilitatea pleoapelor corespunzătoare primului subiect monitorizat conform procedurii experimentale, sunt prezentate în continuare sub formă grafică. În figura 5.7 sunt prezentate rezultatele referitoare la timpul de închidere a pleoapelor, măsurat prin procesarea secvențelor video corespunzătoare celor șase cazuri experimentale. Din Figura 5.7 se poate observa că, timpul de închidere a pleoapelor are o valoare medie de 130 ms, prezentând un minim corespunzător cazului experimental când subiectul este supus unui stimul luminos intermitent. Prezența acestei valori minime, cât și faptul că timpul de închidere a pleoapei în acest caz este de  $160 \pm 65$  ms, poate indica faptul că subiectul este incomodat de lumina intermitentă. Evoluția timpul de deschidere a pleoapelor este prezentat în figura 5.8. Analizând această figură, se poate observa valoarea medie de 170 ms. Cazul experimental șase, corespunzător lecturării unui text, prezintă valoare medie și varianța cea mai mică  $121 \pm 11$  ms. Aceste valori pot fi explicate prin solicitarea atenției vizuale a subiectului, ceea ce duce la deschiderea mai rapidă a pleoapelor pentru a realiza lecturarea ușoară a textului. Corespunzător situațiilor experimentale 2,4,5, în care atenția vizuală a subiectului nu este solicitată pentru



realizarea unei sarcini ce necesită concentrare, se observă o creștere a valorilor timpului de deschidere a pleoapelor până la  $192 \pm 35$  ms. De asemenea se poate observa valoarea maximă  $201 \pm 27$  ms specifică situației când subiectul este relaxat.



**Figura 5.7** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

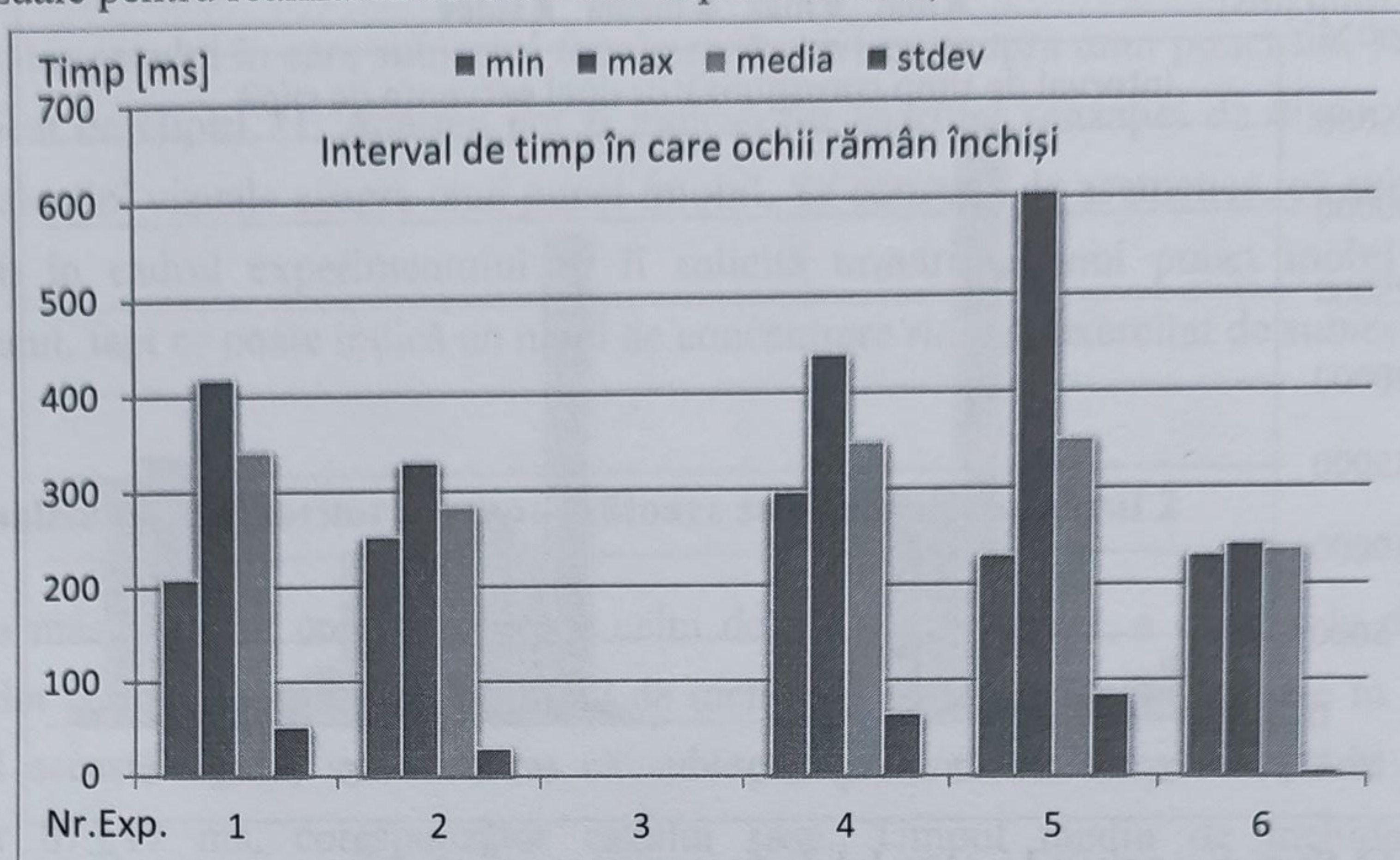


**Figura 5.8** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

În figura 5.9 sunt prezentați timpii în care ochii rămân închiși. Analizând această figură, se poate observa că timpii specifici cazurilor 2,3,4 au valori ridicate, corespunzător cazului 6 se observă minimul de  $235 \pm 5$  ms, iar pentru cazul 1 valoarea maximă de  $341 \pm 52$  ms. Aceste date susțin afirmațiile autorului, conform cărora sarcinile ce necesită o atenție vizuală ridicată prezintă un timp în care ochii rămân închiși redus, spre deosebire de cele care provoacă un disconfort, în

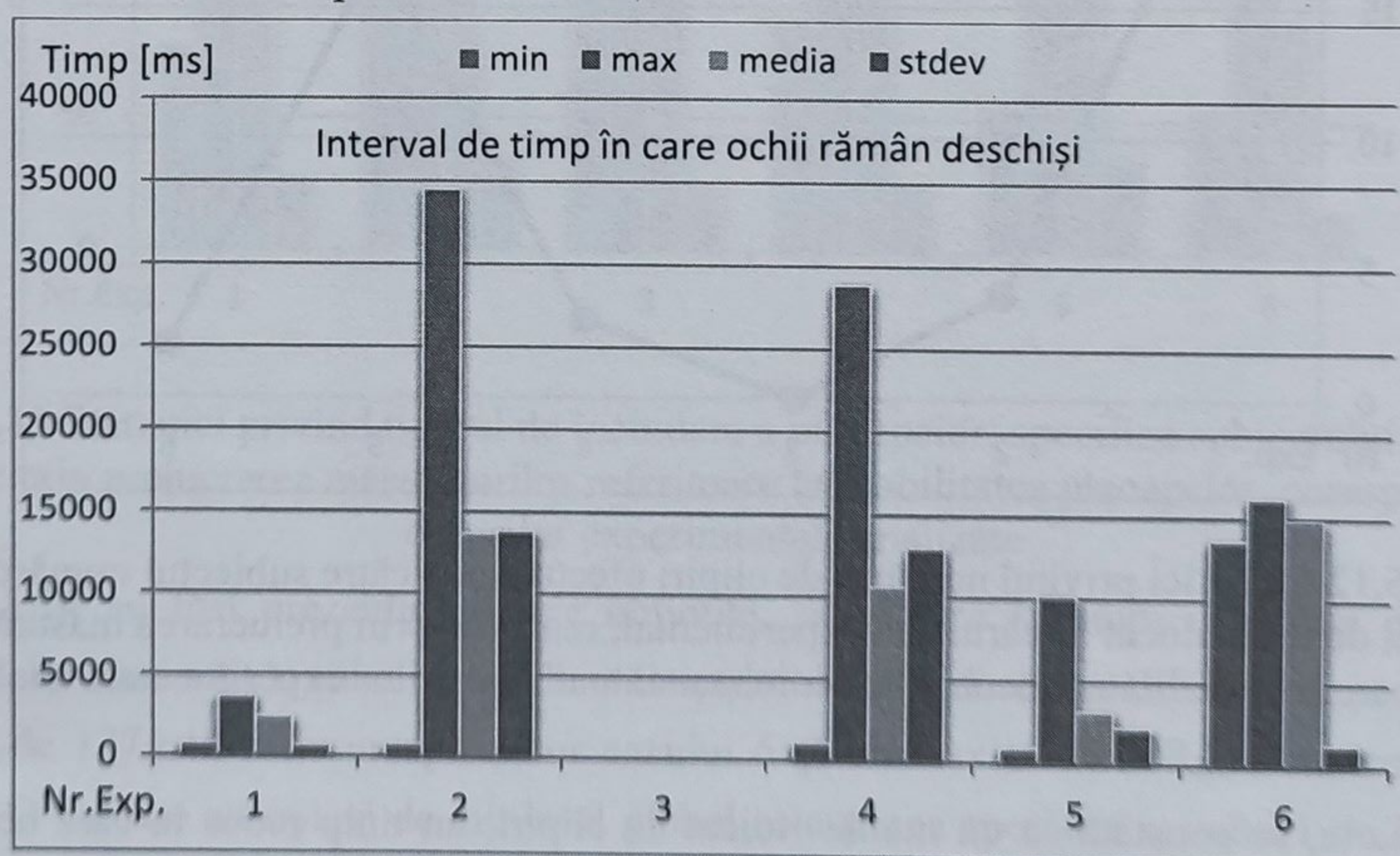


care subiectul prezintă tendința să țină ochii închiși. Timpii în care ochii rămân deschiși sunt prezentați în figura 5.10. Studiind valorile prezentate în această figură, se poate observa valoarea de  $14866 \pm 1281$  ms corespunzătoare cazului 6. Semnificația acestui interval de timp în care ochii subiectului rămân deschiși, poate fi interpretată precum descrisă un nivel ridicat de concentrare a atenției vizuale pentru realizarea obiectivului experimental, și anume lecturarea textului.



**Figura 5.9** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

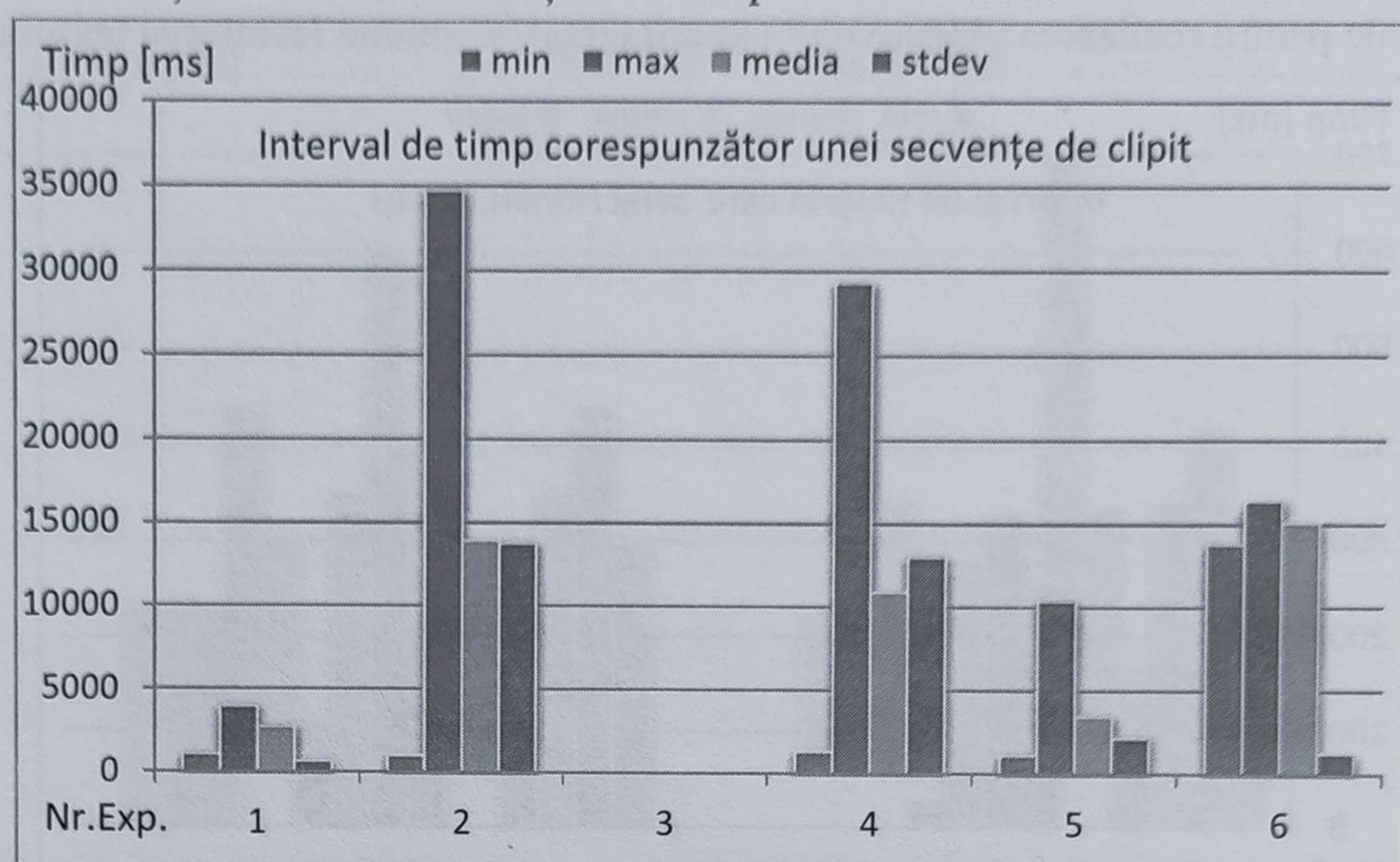
Această tendință observată poate fi susținută și de timpul redus  $2400 \pm 629$  ms, corespunzător cazului experimental unu, în care subiectul este relaxat. În acest caz atenția vizuală este solicitată, însă numărul de clipiri efectuate de subiect este cel mai ridicat 21, ceea ce poate conduce la concluzia că, subiectul uman simte un disconfort creat de menținerea fixă a focalizării privirii, ceea ce duce la o clipire accentuată.



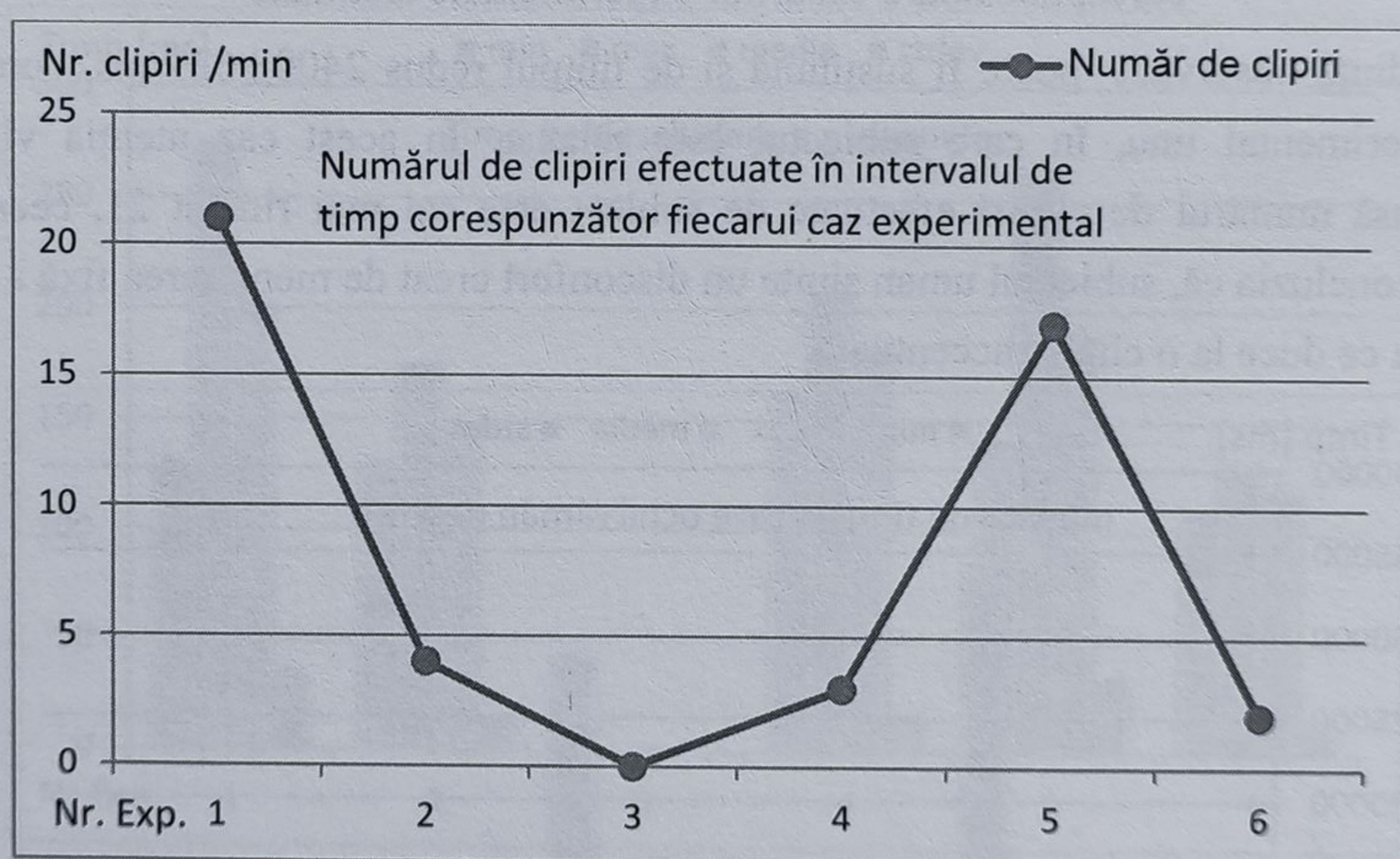
**Figura 5.10** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



În situația experimentală șase, subiectul prezintă un număr scăzut de clipiri, două, conform datelor prezentate în figura 5.12. Numărul de clipiri redus, corelat cu timpul ridicat în care subiectul are ochii deschiși și duratele reduse de închidere și deschidere a ochilor, susțin ipoteza că subiectul uman își concentrează atenția vizuală pentru realizarea unei sarcini creative.



**Figura 5.11** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



**Figura 5.12** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 1, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

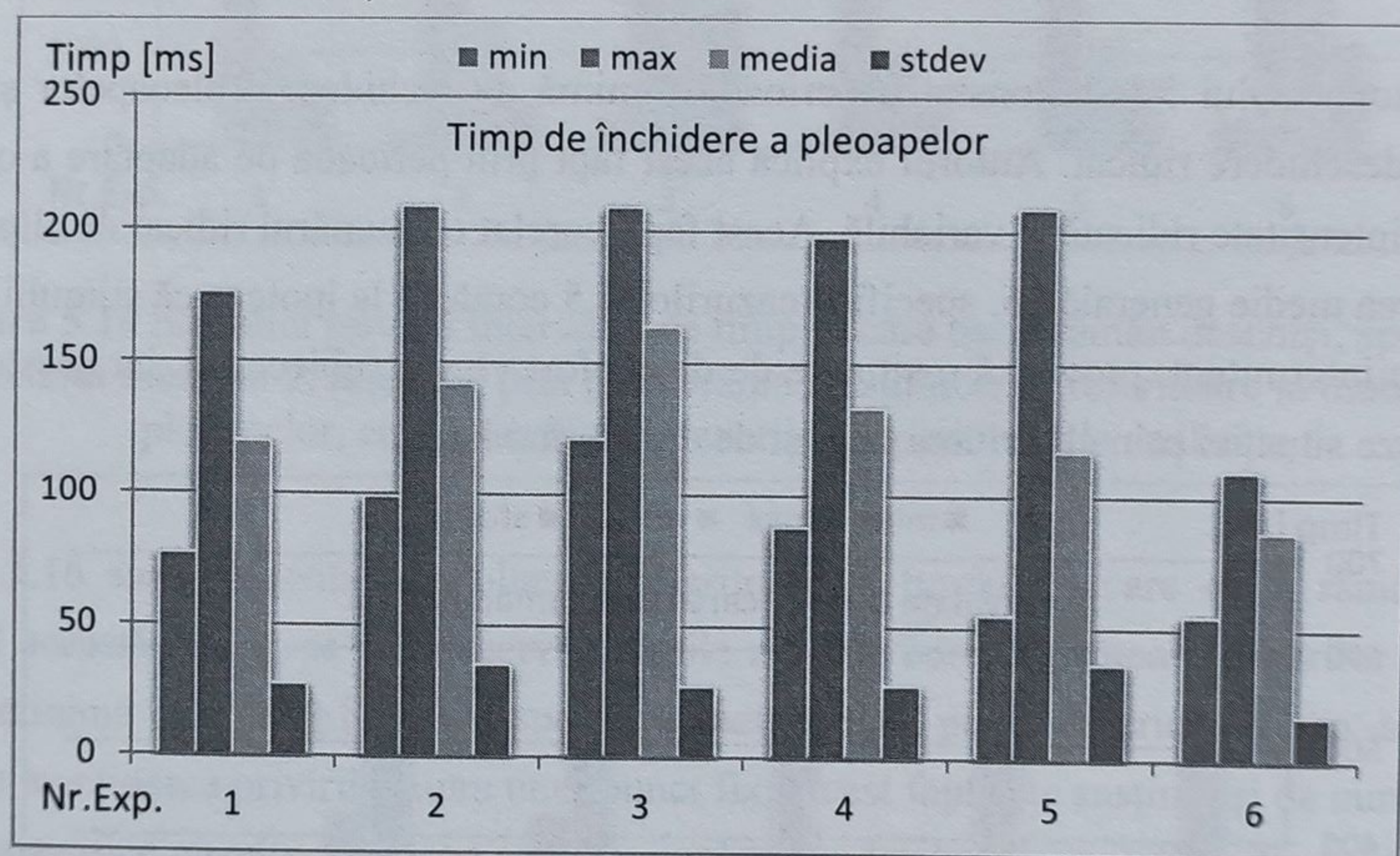
Pe de altă parte, se constată că un număr ridicat de clipiri, un timp redus în care ochii rămân deschiși, corelate cu timpii de închidere și deschidere a pleoapei ridicați, caracterizează situația în care atenția vizuală a subiectului este solicitată, însă aceasta provoacă o senzație de disconfort și nu este utilizată pentru realizarea unei sarcini creative. De asemenea, s-a observat ca un număr



redus de clipiri 4, corelat cu timpii de închidere și deschidere ce prezintă valori apropiate de media determinată, împreună cu o durată medie în care ochii rămân deschiși, caracterizează starea de relaxare a subiectului. Analizând figura 5.12, se poate observa că subiectul uman prezintă un număr de 16 clipiri corespunzătoare cazului 5. Acestea pot sugera o resimțire de către acesta a unei senzații de disconfort, creată de către stimulul luminos intermitent. Corespunzător cazului în care subiectul focalizează privirea asupra unui punct fix, se constată un număr ridicat de clipiri 21. Acestea pot fi indicatorul apariției senzației de disconfort, datorită solicitării atenției vizuale asupra unui punct imobil. Se constată de asemenea, că subiectul uman nu a clipit în cadrul experimentului ce îi solicită urmărirea unui punct mobil pe ecranul calculatorului, fapt ce poate indica un nivel de concentrare ridicat, exercitat de subiect.

### 5.2.2. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 2

Analizarea măsurătorilor corespunzătoare celui de al doilea subiect, a condus la determinarea următoarelor rezultate referitoare la timpul de închidere a pleoapelor, prezentate în figura 5.13. Analizând această figură, s-a observat că subiectul prezintă un timp scăzut de închidere a pleoapelor  $87 \pm 17$  ms, corespunzător cazului șase. Timpul mediu de închidere este de aproximativ 130 ms, iar deviația standard are o medie de 27 ms.

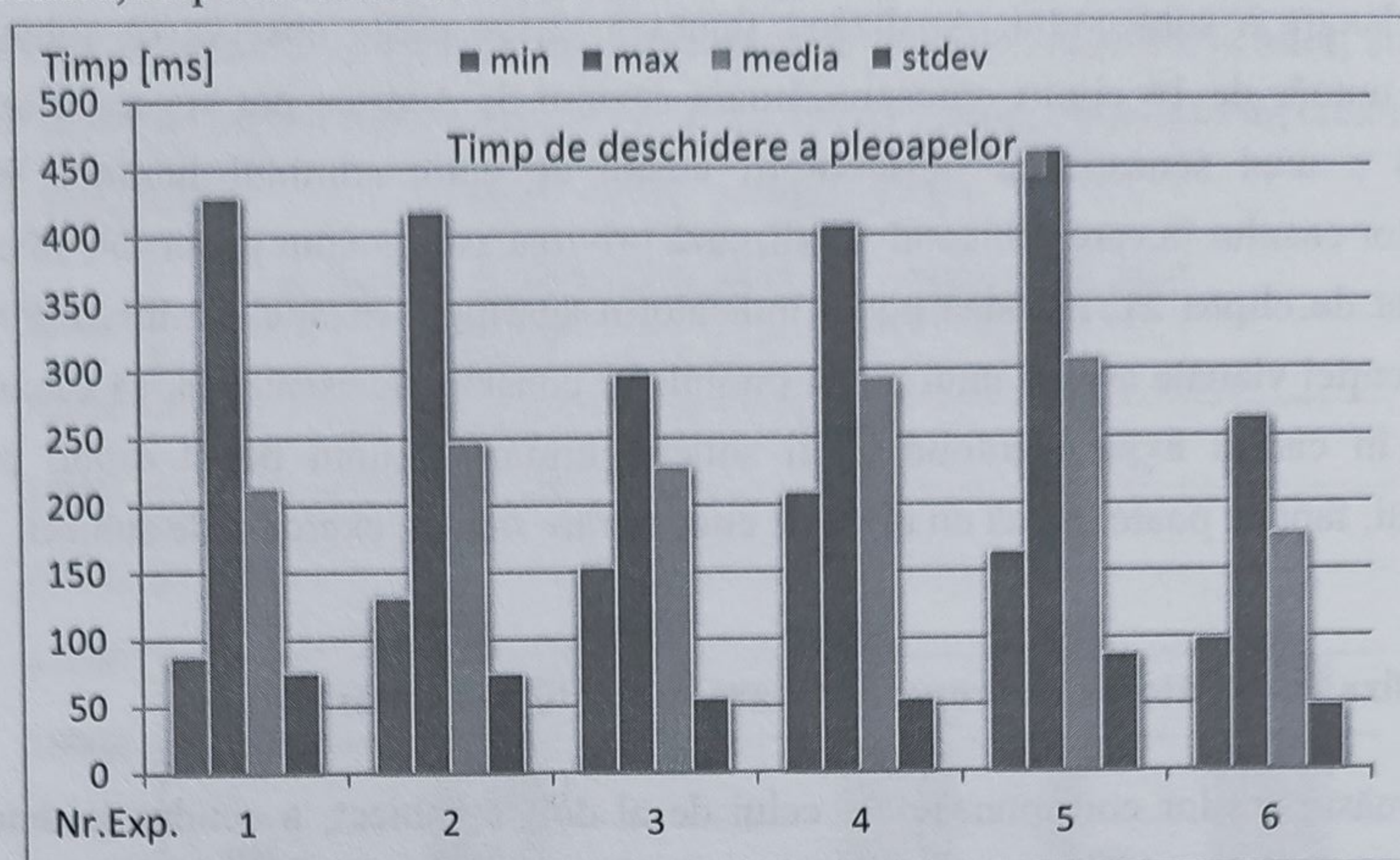


**Figura 5.13** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

În figura 5.14 au fost prezentate datele obținute, referitoare la timpii medii de deschidere a pleoapelor. Se observă că, valoarea medie a timpului de închidere este de 250 ms, acesta prezintă un minim de  $177 \pm 48$  ms, corespunzător cazului 6 și un maxim de  $308 \pm 87$  ms corespunzător cazului 5. O valoare apropiată de minimul global este și cea specifică cazului 1 de  $212 \pm 77$  ms. Valorile minime ale timpului de deschidere a pleoapelor sunt considerate a caracteriza o solicitare a atenției vizuale, unde cazul 1 poate fi descris ca o solicitare ce provoacă o senzație

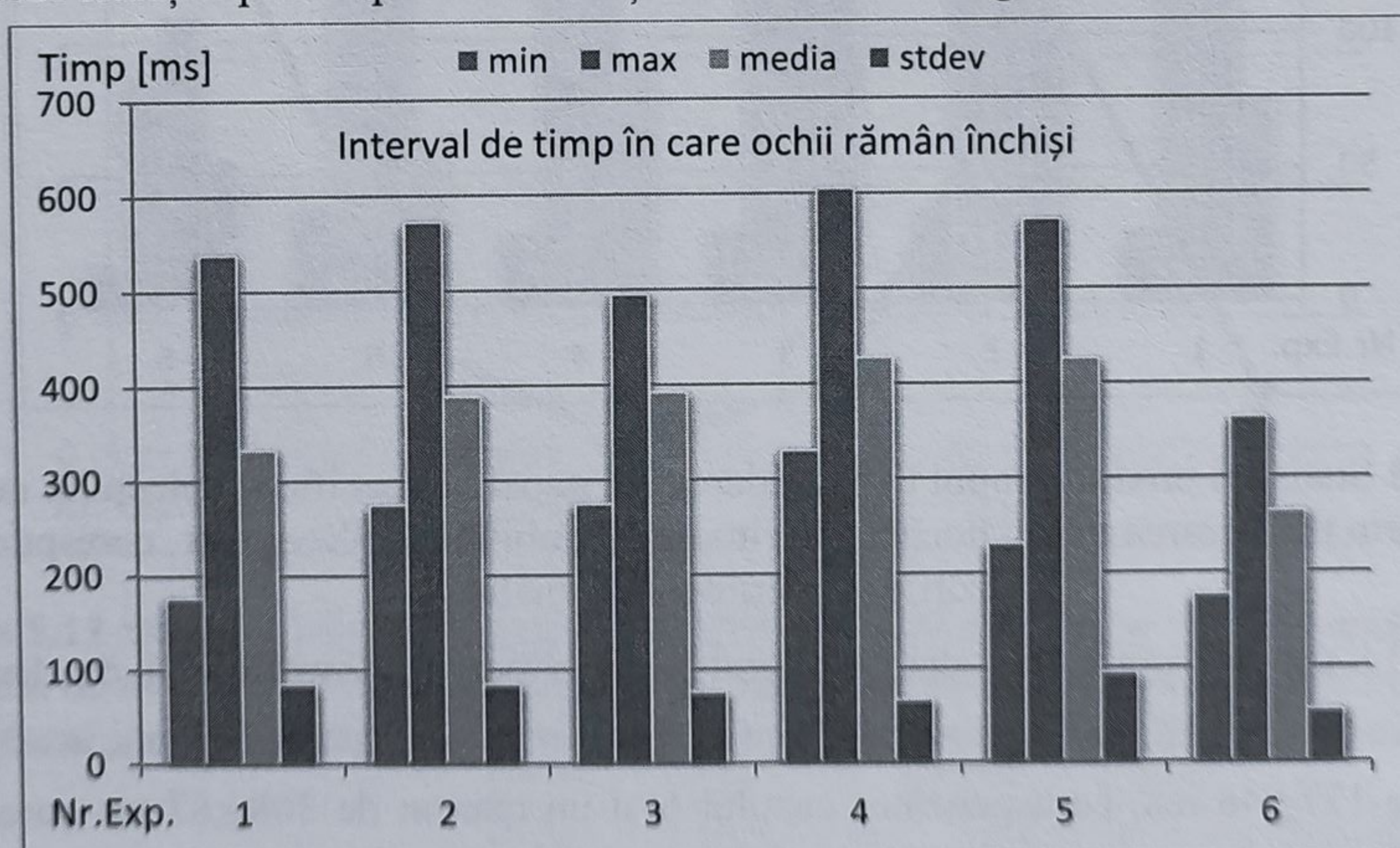


de disconfort, iar cazul 6 ca o concentrare voluntară a atenției vizuale pentru a realiza sarcina o sarcină specifică, respectiv lecturarea unui text.



**Figura 5.14** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

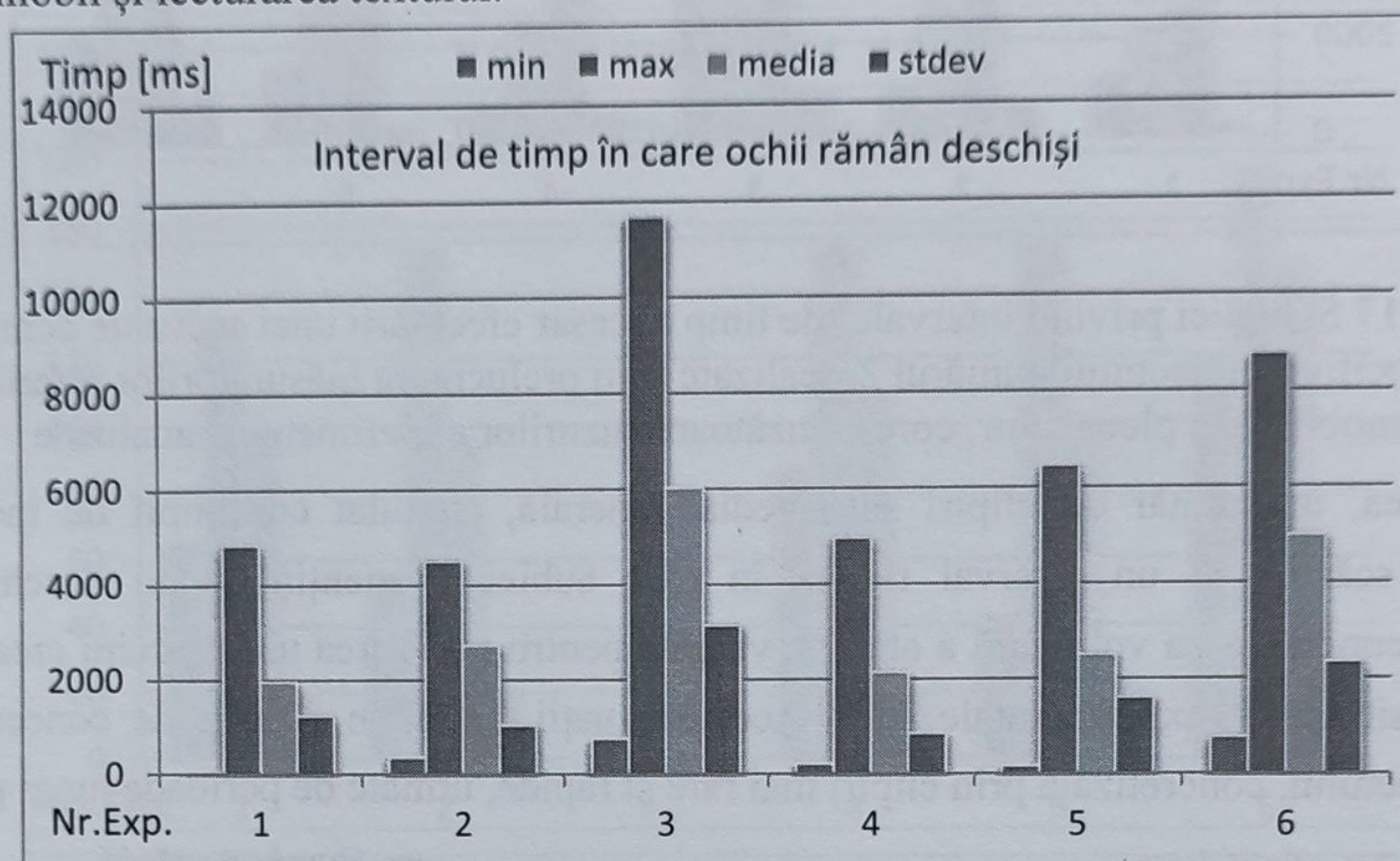
Corespunzător cazului 5, s-a constatat o perioadă minimă de închidere a pleoapelor și un timp specific de deschidere ridicat. Autorul explică acest fapt prin perioada de adaptare a ochiului la stimulul de intensitate ridicată și variabilă. Acest fapt, corelat cu numărul ridicat de clipiri 23, 20, peste valoarea medie generală 16, specifică cazurilor 4,5 conduce la ipoteza că stimulii luminoși, constant sau intermitent, provoacă o situație de disconfort vizual subiectului, iar acesta încearcă să se adapteze situației prin clipiri mai dese și de durată mai lungă.



**Figura 5.15** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



Figura 5.15 prezintă informațiile referitoare la timpul cât ochii subiectului rămân deschiși. Analizând această figură se poate observa, corespunzător cazurilor 3,6 două valori apropiate  $6020 \pm 3138$  ms, respectiv  $4982 \pm 2346$  ms. Aceste valori reprezintă durata medie în care ochii subiectului rămân deschiși, pe parcursul celor două experimente. Valorile ridicate ale acestora, cumulate cu timpii de închidere și deschidere, ce au valori sub media generală și împreună cu numărul redus de clipiri 9, respectiv 11 conduc la afirmația că, acești parametri descriu starea de concentrare voluntară a atenției vizuale asupra realizării celor două sarcini specifice, urmărirea punctului mobil și lecturarea textului.

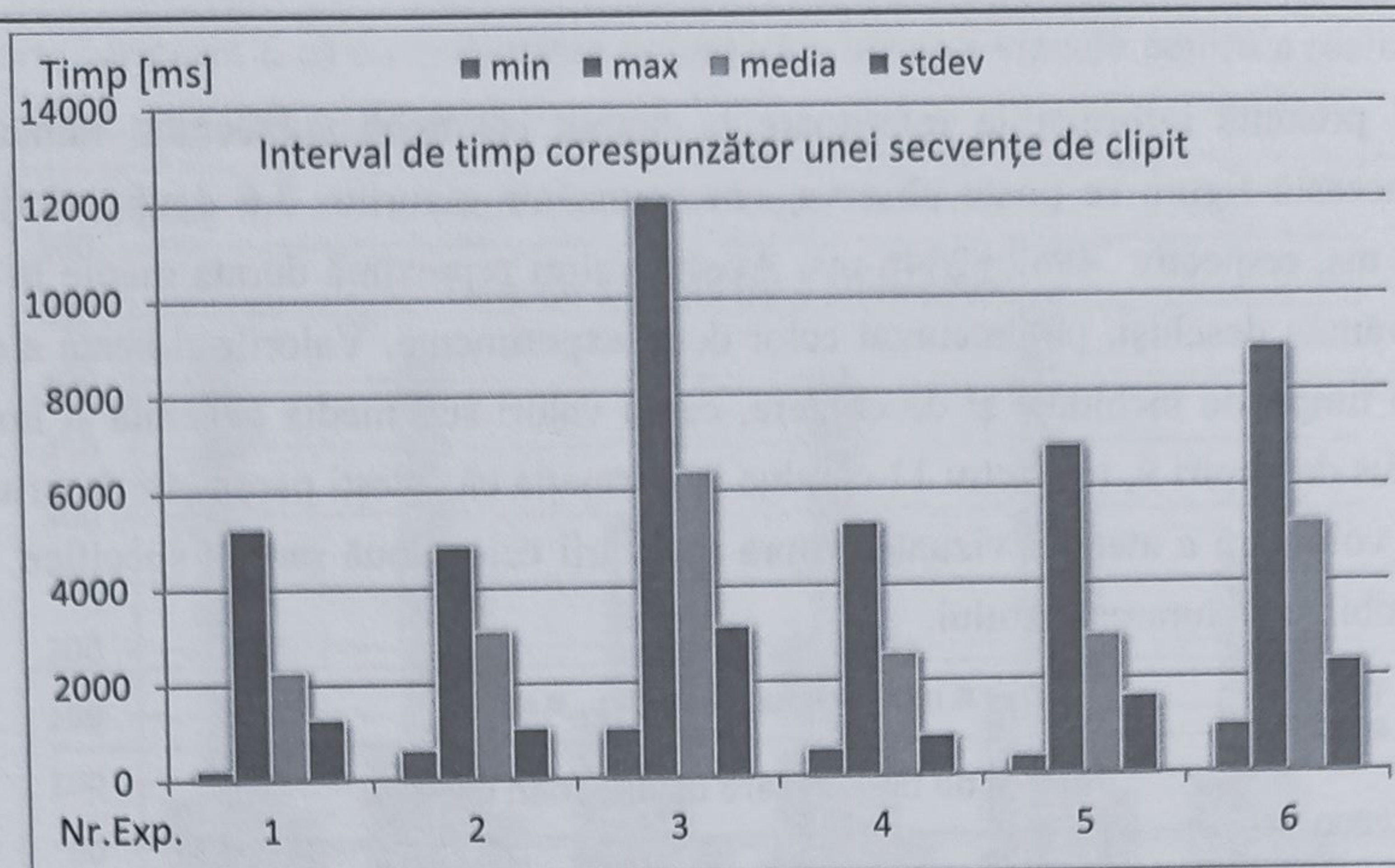


**Figura 5.16** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

În figura 5.16 sunt prezentate rezultatele referitoare la timpul în care ochii rămân deschiși. Analizând această figură, se pot observa valorile ridicate corespunzătoare cazurilor trei și șase. Valoarea minimă de  $1956 \pm 1238$  ms specifică cazului unu, poate descrie senzația de disconfort cauzată de menținerea privirii asupra unui punct fix. Acest fapt este susținut și de numărul ridicat de clipiri specifice cazului 1, observate prin analizarea datelor prezentate în figura 5.18. Figura 5.17 prezintă intervalul corespunzător unei secvențe de clipit. Acest interval specifică timpul necesar efectuării unei clipiri, prin închiderea, deschiderea pleoapelor și până la următoarea secvență de clipit.

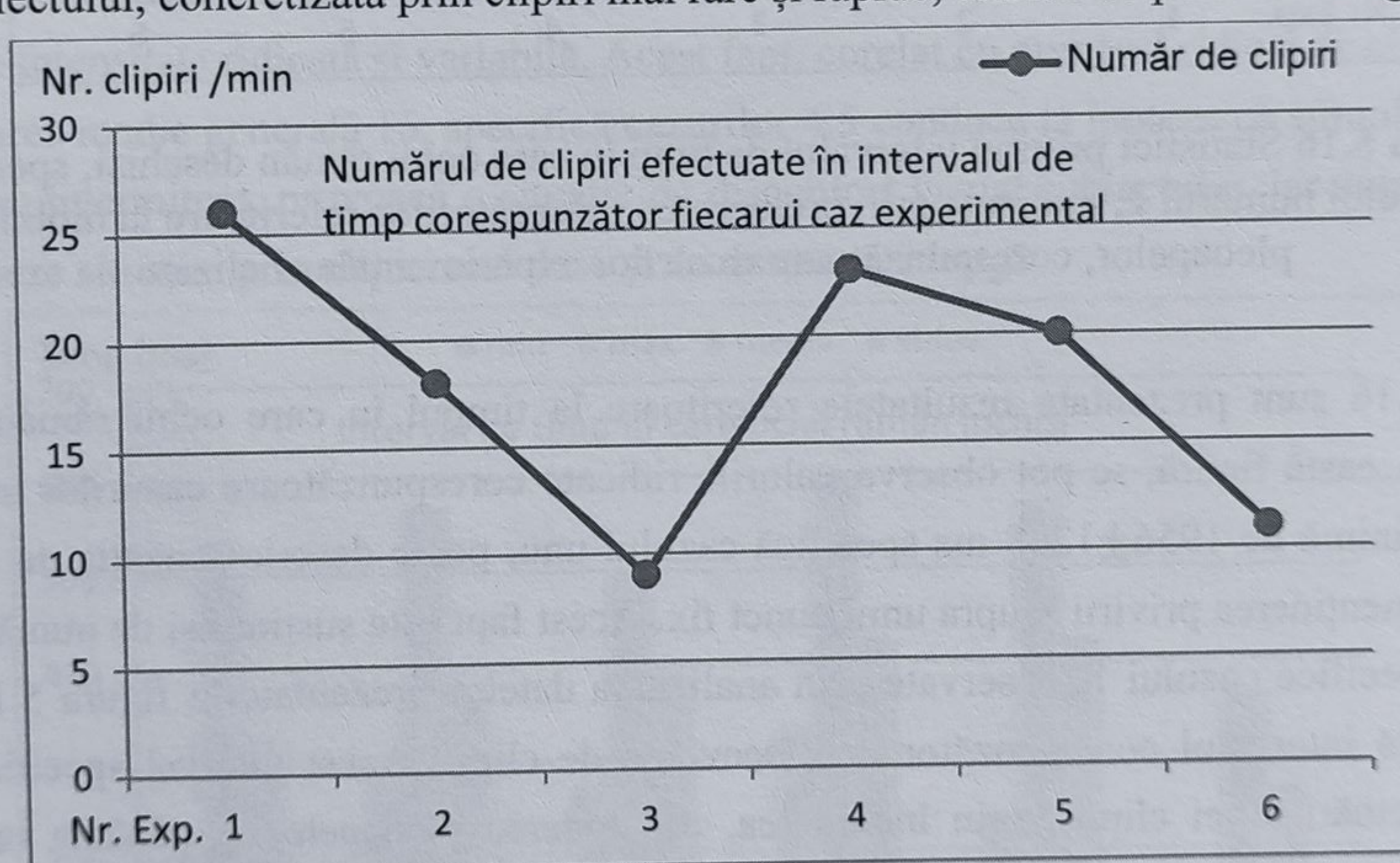
În figura 5.18 sunt prezentate numărul de clipiri efectuate de subiect pe parcursul duratei de 60 de secunde, corespunzătoare fiecărui caz experimental. S-a observat că o valoare ridicată a numărului de clipiri, împreună cu valori scăzute a timpului cât ochii rămân deschiși, corelate cu timpii de închidere mici și timpii de deschidere ridicați, specifică situația în care subiectul simte o senzație de disconfort cauzată de menținerea atenției vizuale asupra unui punct fix.





**Figura 5.17** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

De asemenea, un număr de clipiri sub media generală, cumulat cu timpii de închidere și deschidere scăzuți, și un interval ridicat în care subiectul menține ochii deschiși poate caracteriza concentrarea voluntară a atenției vizuale pentru realizarea unor sarcini creative, cum este cazul situațiilor experimentale 3, 6. Aceste situații presupun o stare de concentrare din partea subiectului, concretizată prin clipiri mai rare și rapide, urmate de perioade lungi pauză.



**Figura 5.18** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 2, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

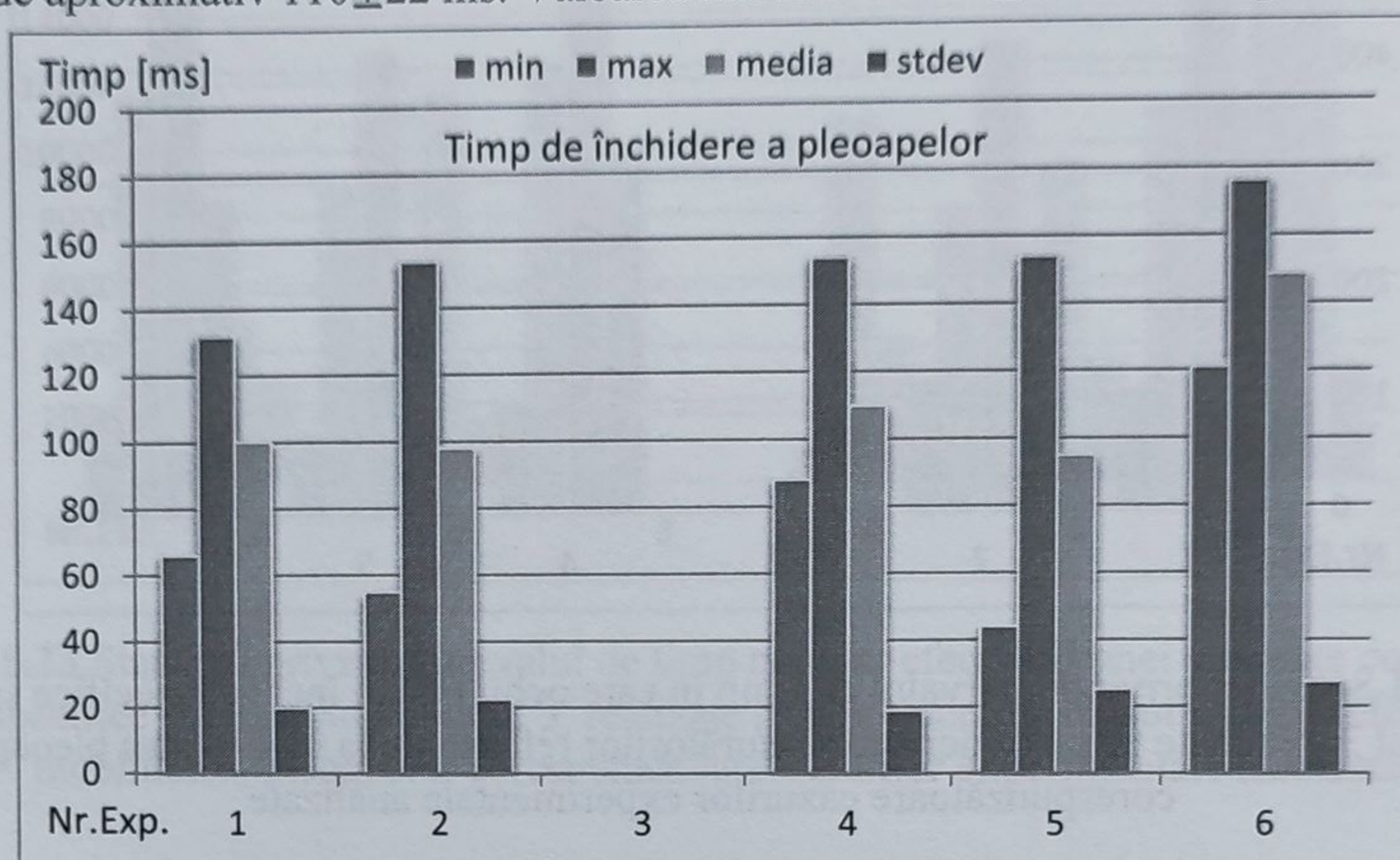
Numărul ridicat de clipiri, corespunzătoare cazului focalizării privirii asupra unui punct fix, poate fi indicatorul unei senzații de disconfort, datorată solicitării ridicate a atenției vizuale. Valorile



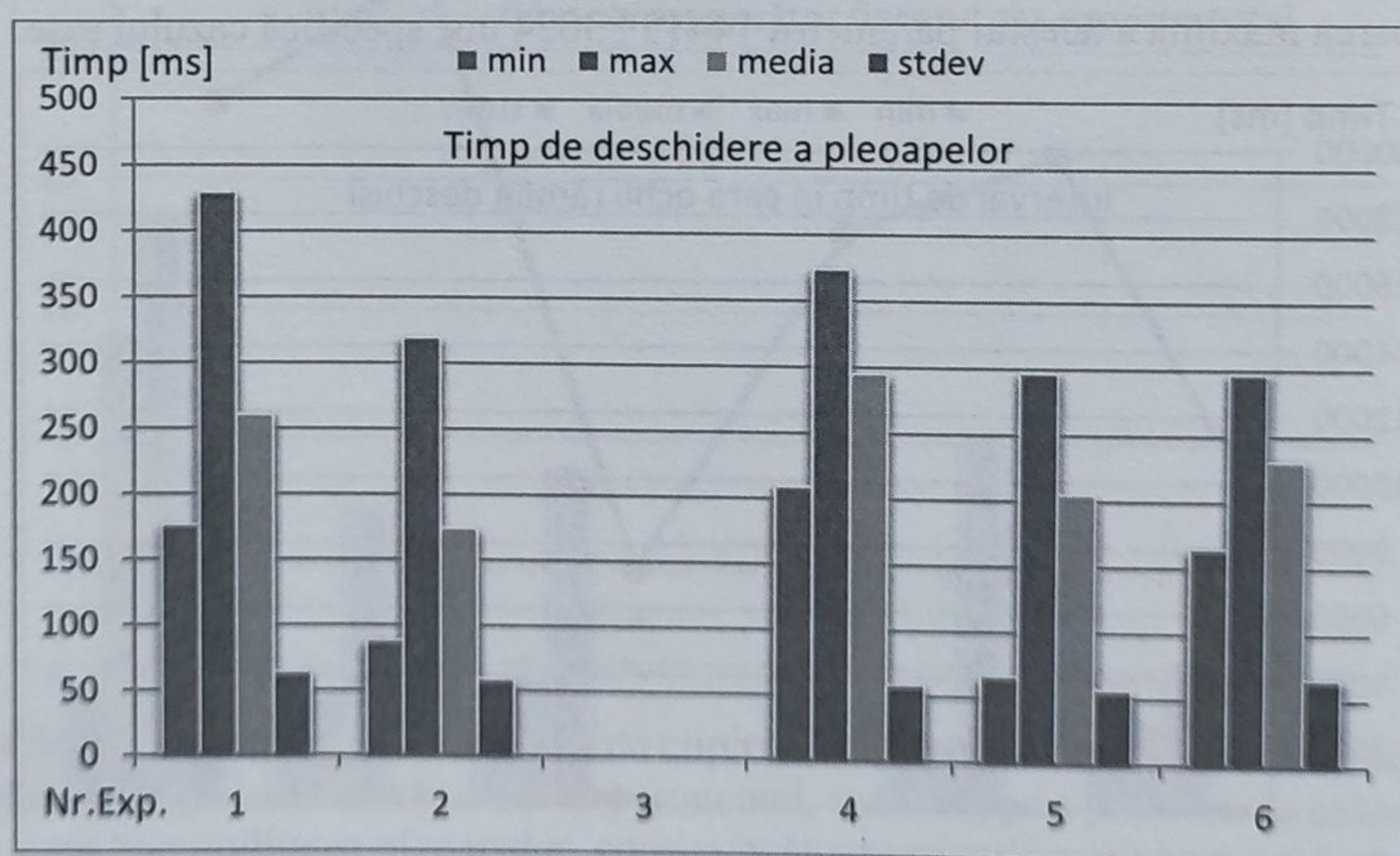
ridicate aferente cazurilor în care subiectul este expus unui stimul luminos, pot descrie apariția stării de disconfort datorită stimulului luminos puternic.

### 5.2.3. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 3

Măsurătorile efectuate pentru determinarea timpilor medii de închidere a pleoapelor, specifici celui de al treilea subiect monitorizat, au condus la rezultatele prezentate în figura 5.19. Analizând datele prezentate în această figură, se poate constata o valoare medie a timpului de închidere de aproximativ  $110 \pm 22$  ms. Valoarea maximă de  $148 \pm 27$  ms este specifică cazului 6.



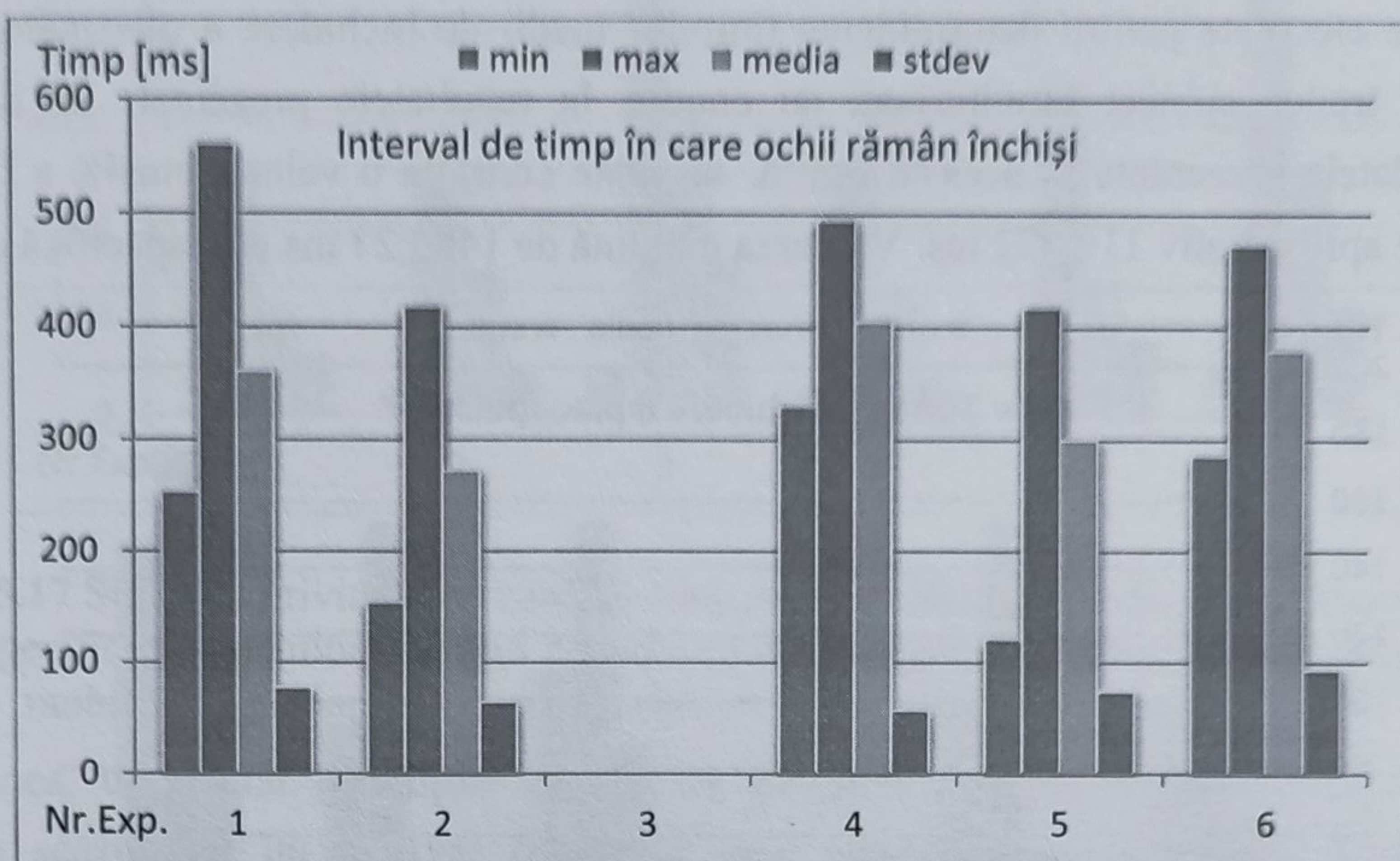
**Figura 5.19** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 3, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



**Figura 5.20** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 3, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

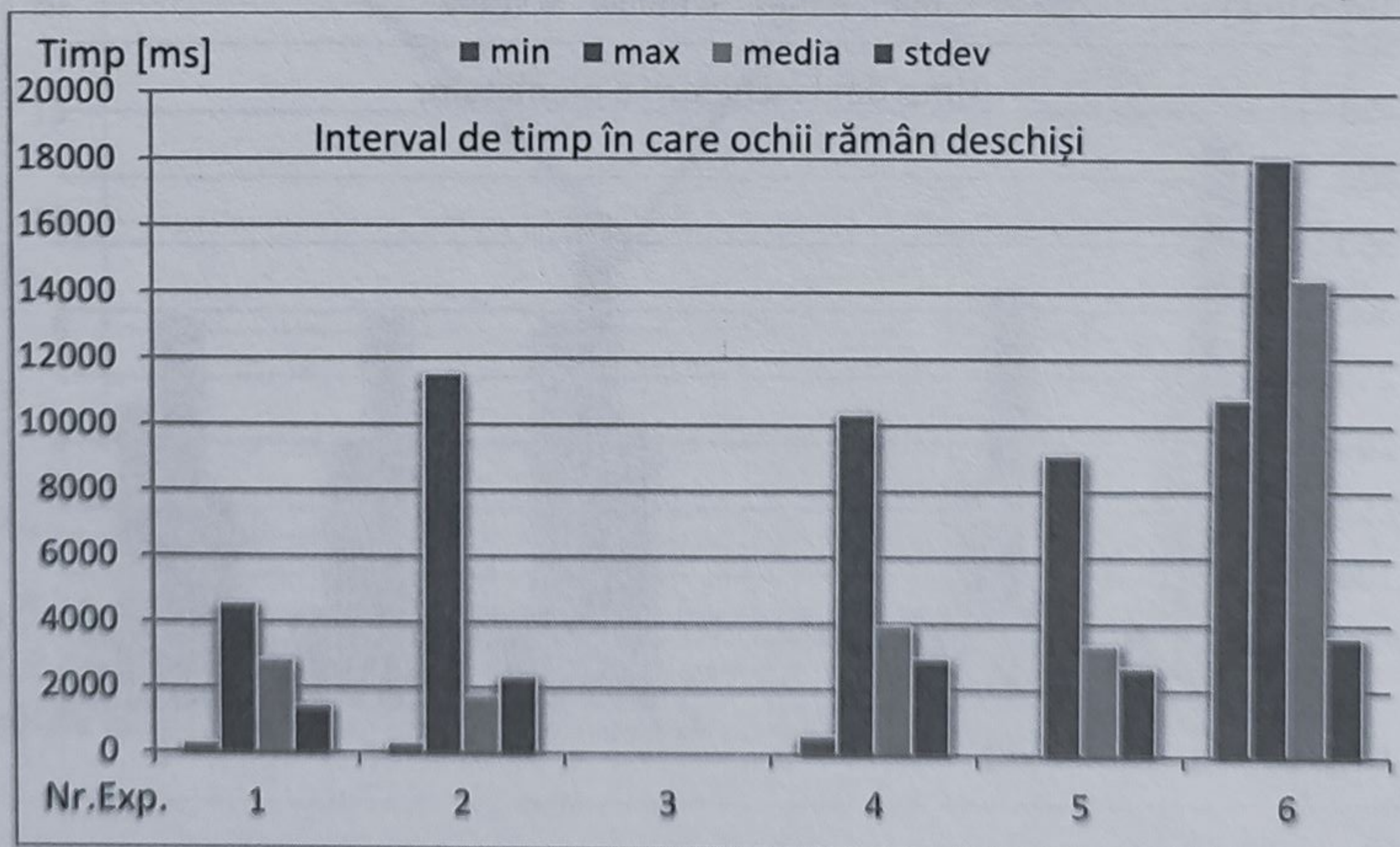


În figura 5.20 sunt descrise valorile timpilor medii de deschiderea a pleoapelor, iar media generală în acest caz este de aproximativ  $220 \pm 50$  ms. De asemenea, un maxim de  $295 \pm 58$  ms este atins în cazul patru. Timpii în care ochii rămân deschiși sunt prezentați în figura 5.21. Analizând această figură se poate observa, corespunzător cazurilor 1,4,5,6 valori apropiate de media generală  $320 \pm 60$  ms.



**Figura 5.21** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închisi, specifice subiectului numărul 3, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

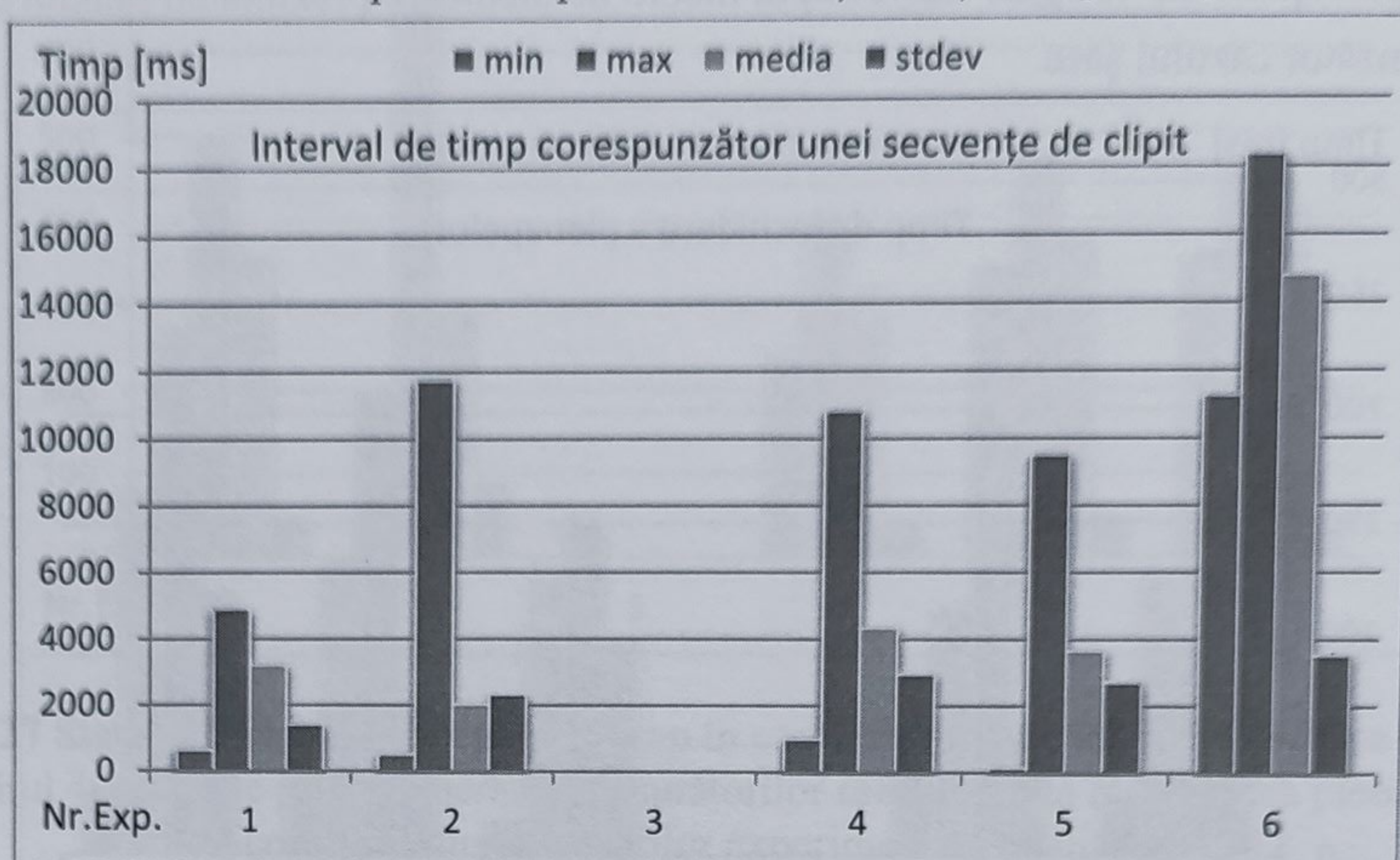
Intervalele de timp medii, specifice cazurilor experimentale ce descriu durata de timp cât ochii subiectului rămân deschiși, sunt prezentați în figura 5.22. Analizând această figură, se poate observa valoarea maximă a acestui parametru  $14415 \pm 3624$  ms, specifică cazului șase.



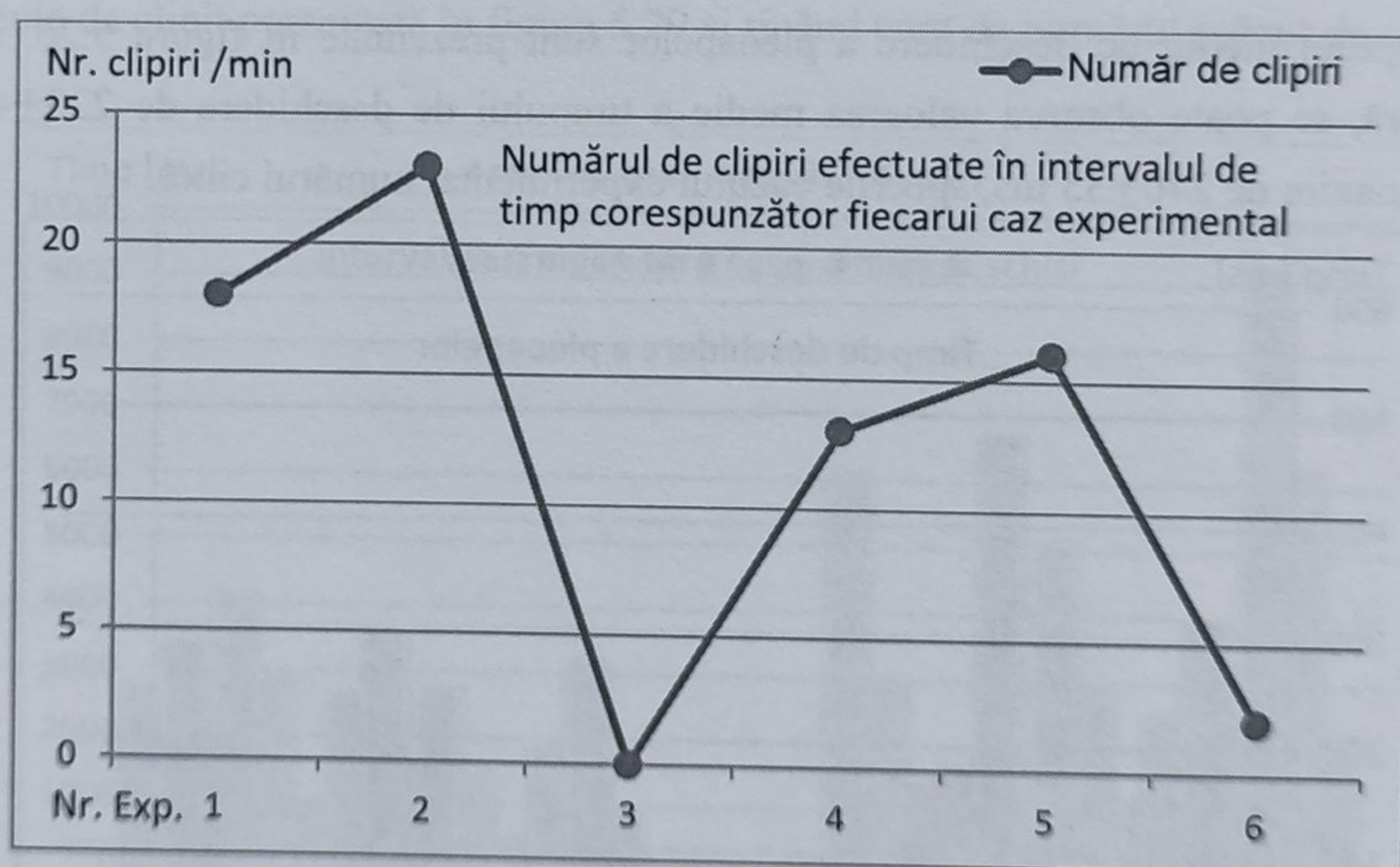
**Figura 5.22** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 3, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



Corespunzător celorlalte cazuri sunt observate valori specifice, mult reduse în comparație cu cazul șase. Timpul ridicat în care ochii rămân deschiși, cumulat cu numărul redus de clipiri, două, conform figura 5.24 și durata ridicată a unei secvențe de clipit, specifică cazului șase prezentată în figura 5.23, conduc spre ipoteza că acestea descriu o concentrare a atenției vizuale pentru realizarea unei sarcini specifice. Ipoteză este susținută și de lipsa clipitului în cazul trei.



**Figura 5.23** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 3, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea, pleoapelor corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



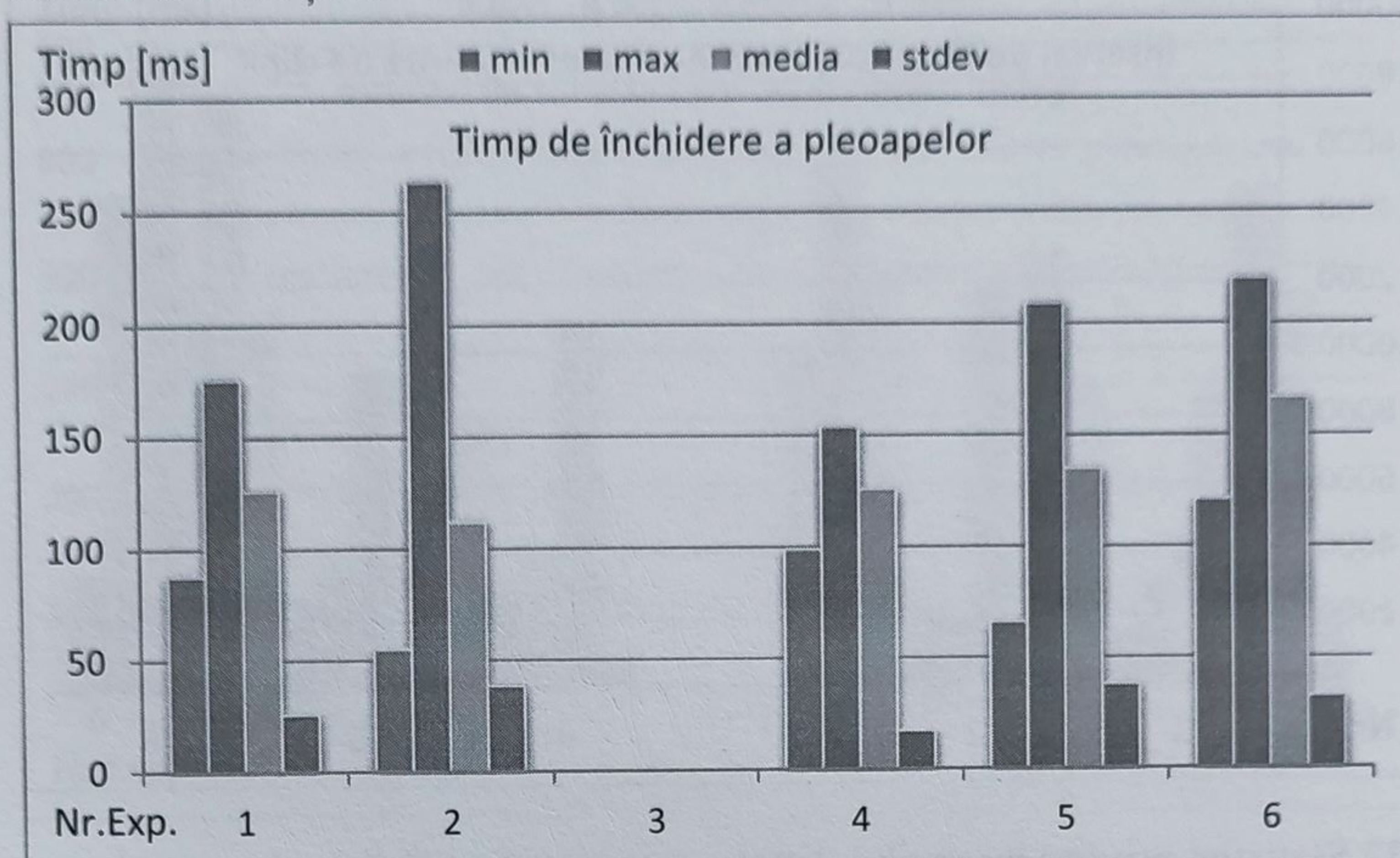
**Figura 5.24** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 3, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

Analizând figura 5.24, se poate observa că subiectul nu clipește pe durata cazului 3, fapt ce poate indica un nivel ridicat de concentrare, susținut și de numărul redus de clipiri corespunzătoare lecturării unui text cazul 6.



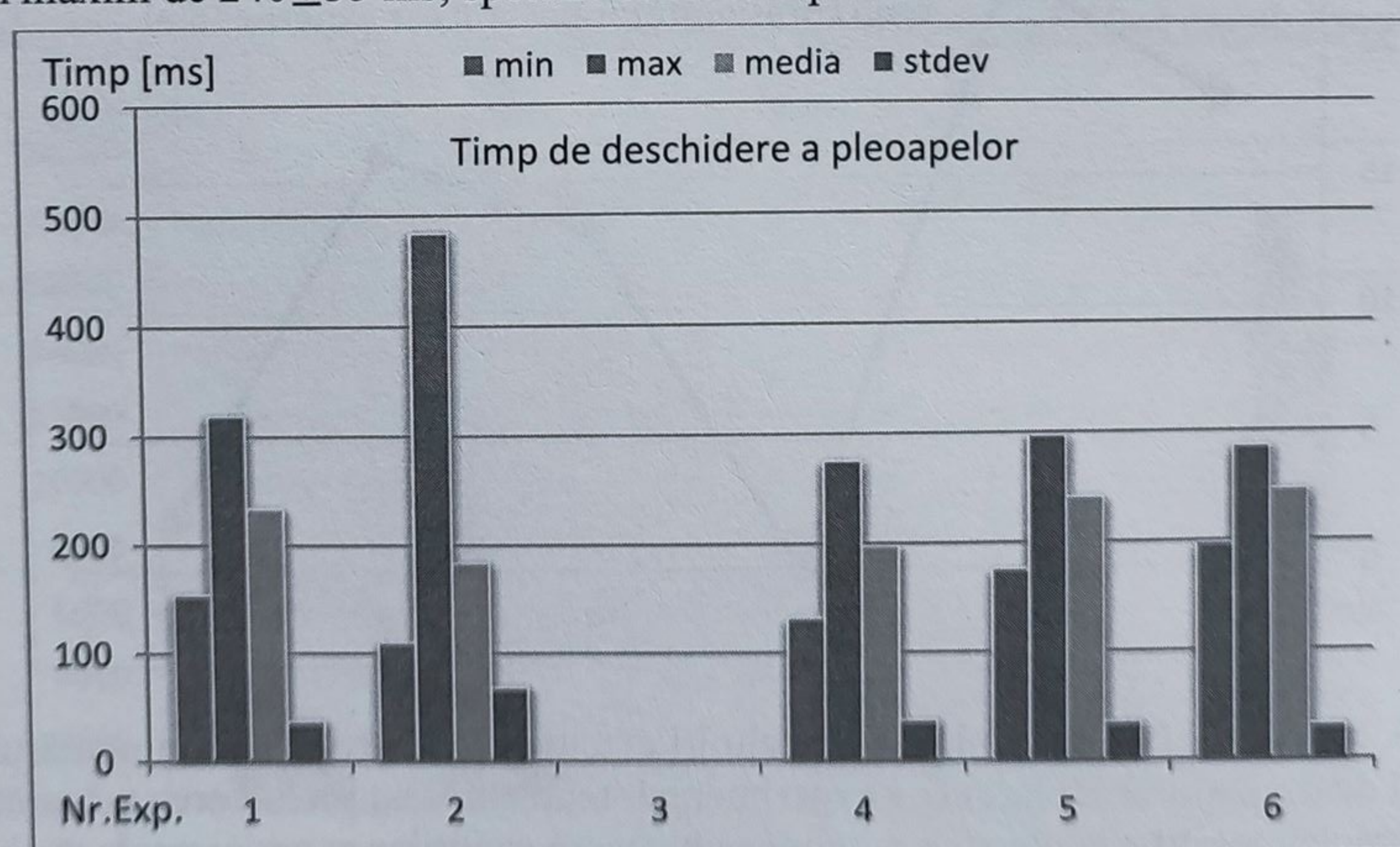
#### 5.2.4. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 4

Timpul mediu de închidere a pleoapelor, specific fiecărui caz experimental este prezentat în figura 5.25. Analizând datele din această figură, se poate observa valoarea medie a timpului de închidere a pleoapelor de  $130 \pm 28$  ms. Timpul mediu de închidere prezintă un maxim de  $166 \pm 32$  ms, corespunzător cazului șase.



**Figura 5.25** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

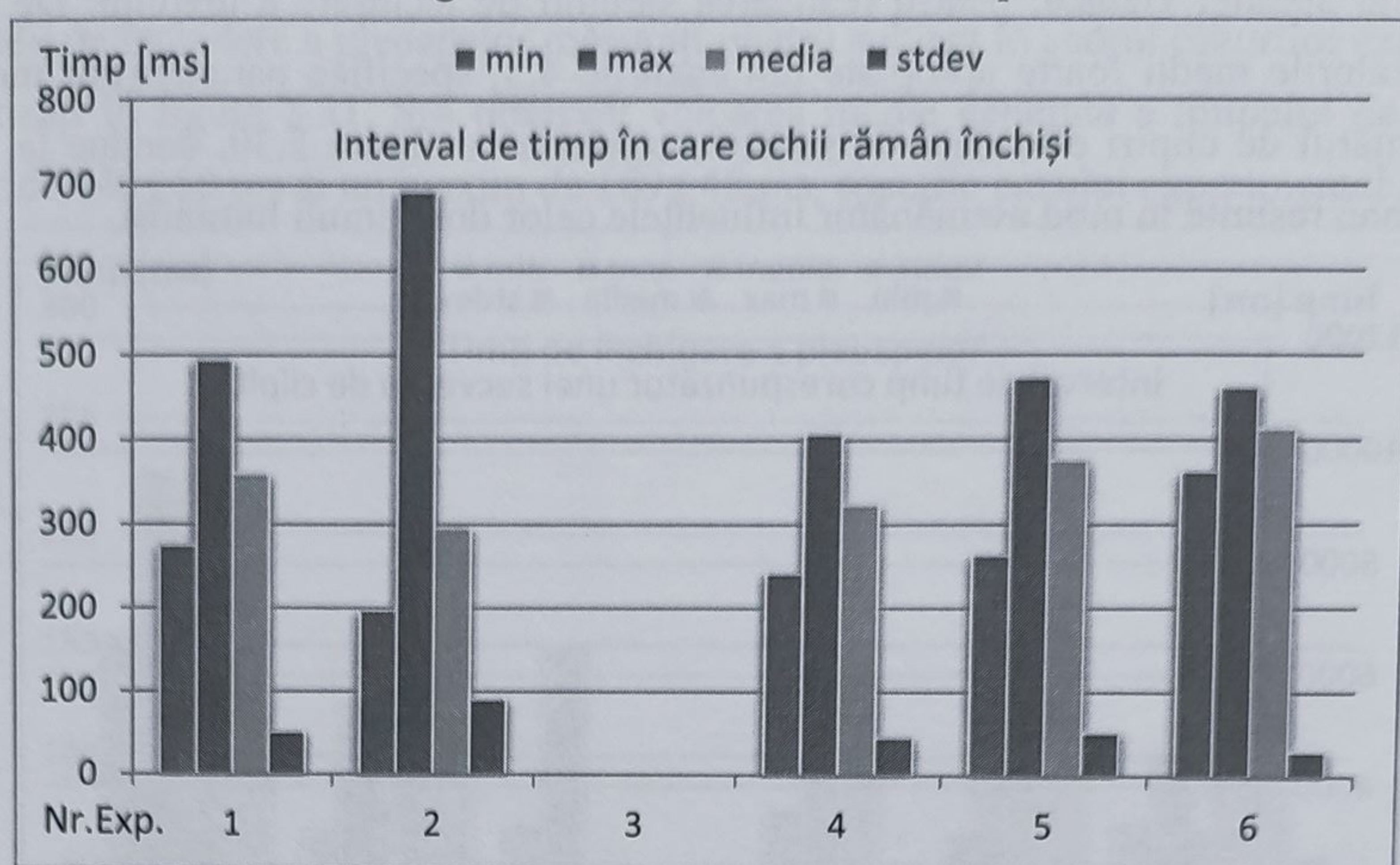
Valorile timpului mediu de deschidere a pleoapelor sunt prezentate în figura 5.26. Analizând această figură, se poate observa valoarea medie a timpului de deschidere de  $220 \pm 40$  ms. Se observă un maxim de  $240 \pm 35$  ms, specific cazului experimental numărul cinci.



**Figura 5.26** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

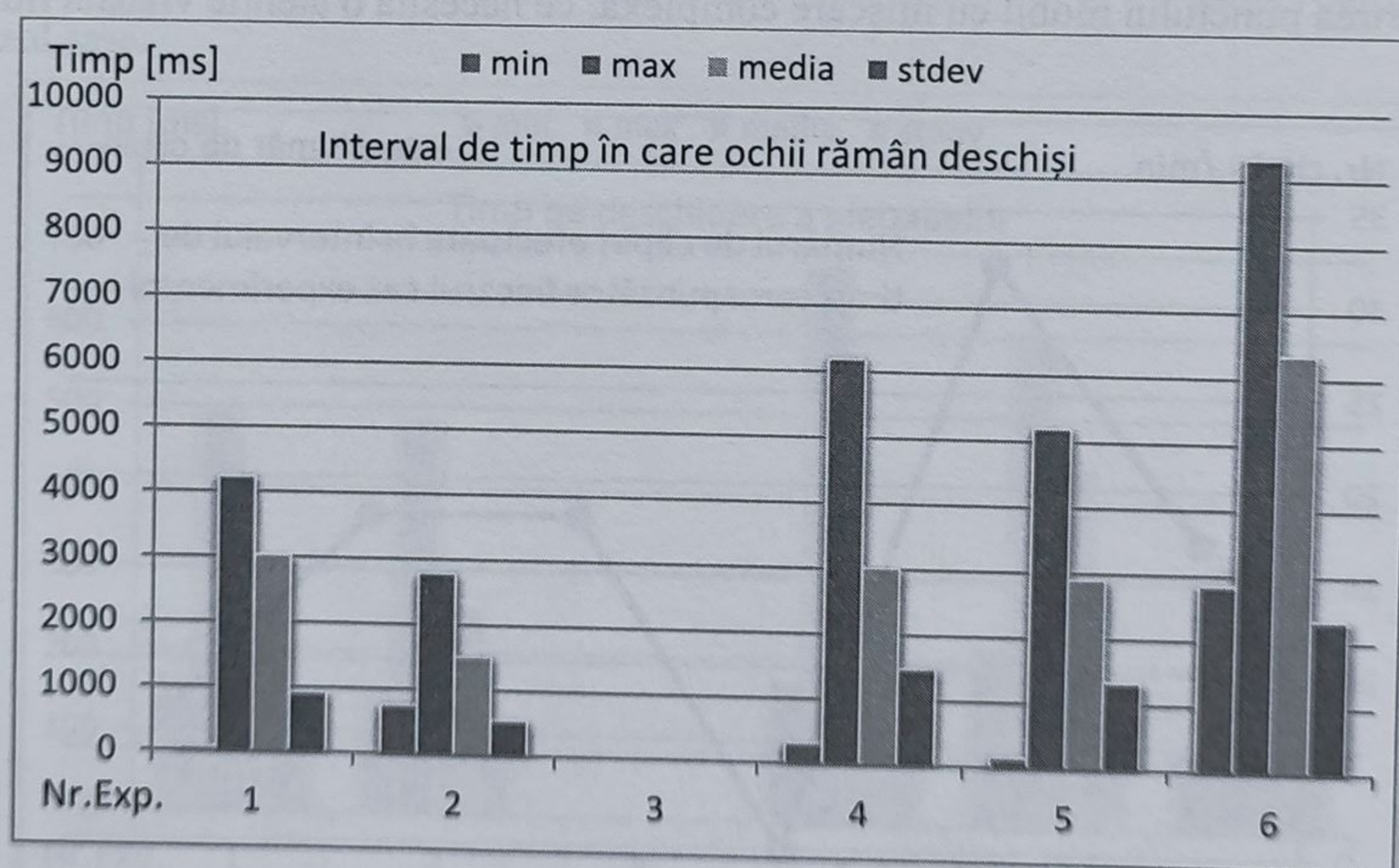


Intervalele de timp în care ochii rămân închiși sunt prezentate în figura 5.27. Conform acestei figuri se observa o valoare medie generală de  $350 \pm 45$  ms, a timpului în care ochii sunt închiși.



**Figura 5.27** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

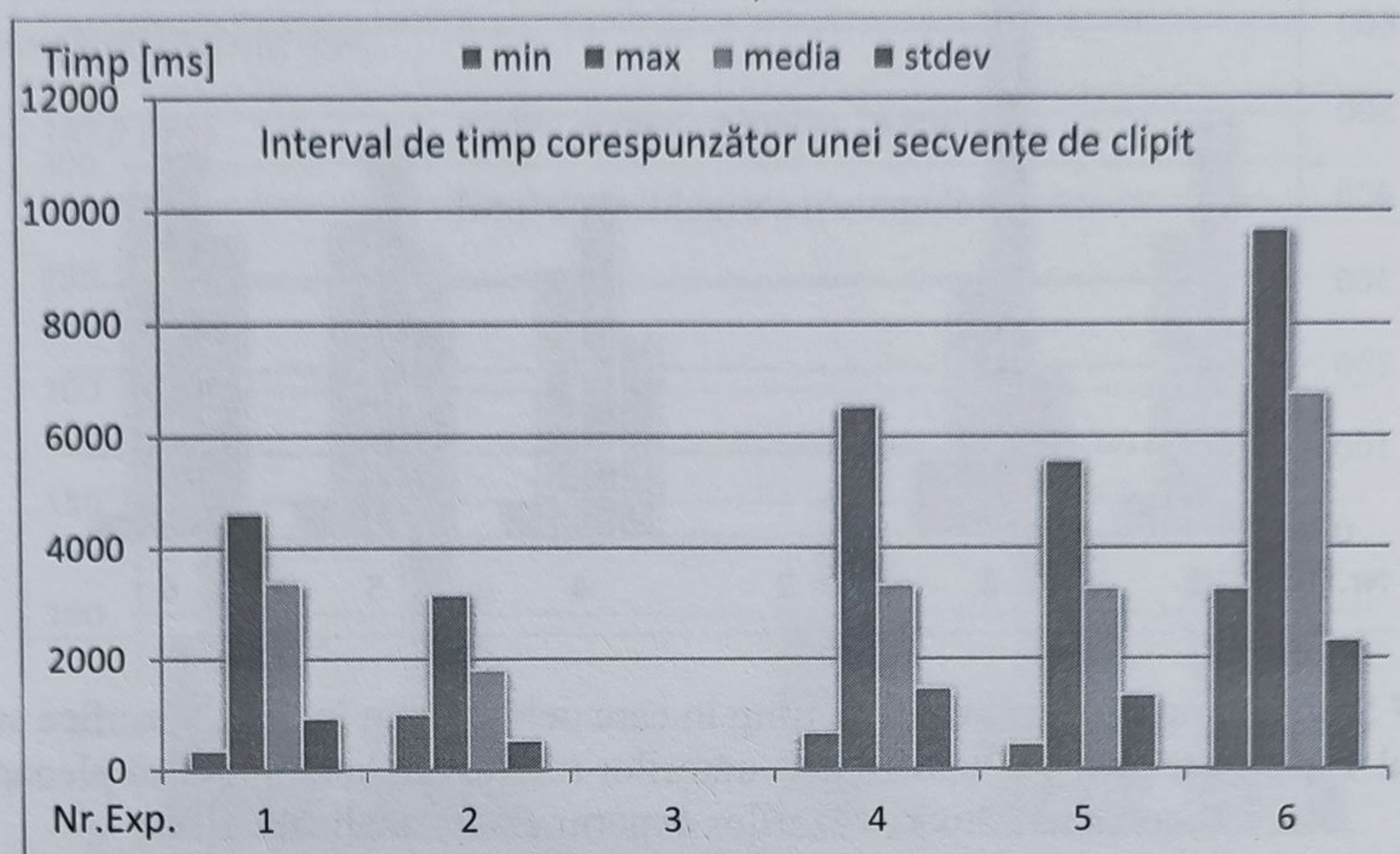
Analizând figura 5.28, în care sunt prezentați timpii în care ochii rămân deschiși, se poate observa valoarea maximă  $6351 \pm 2232$  ms, specifică cazului experimental șase. Această valoare ridicată a intervalului în care ochii rămân deschiși, cumulată cu durata ridicată  $6765 \pm 2237$  ms a unei secvențe de clipit prezentată în figura 5.29 și ținând cont de numărul scăzut de clipiri ale



**Figura 5.28** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

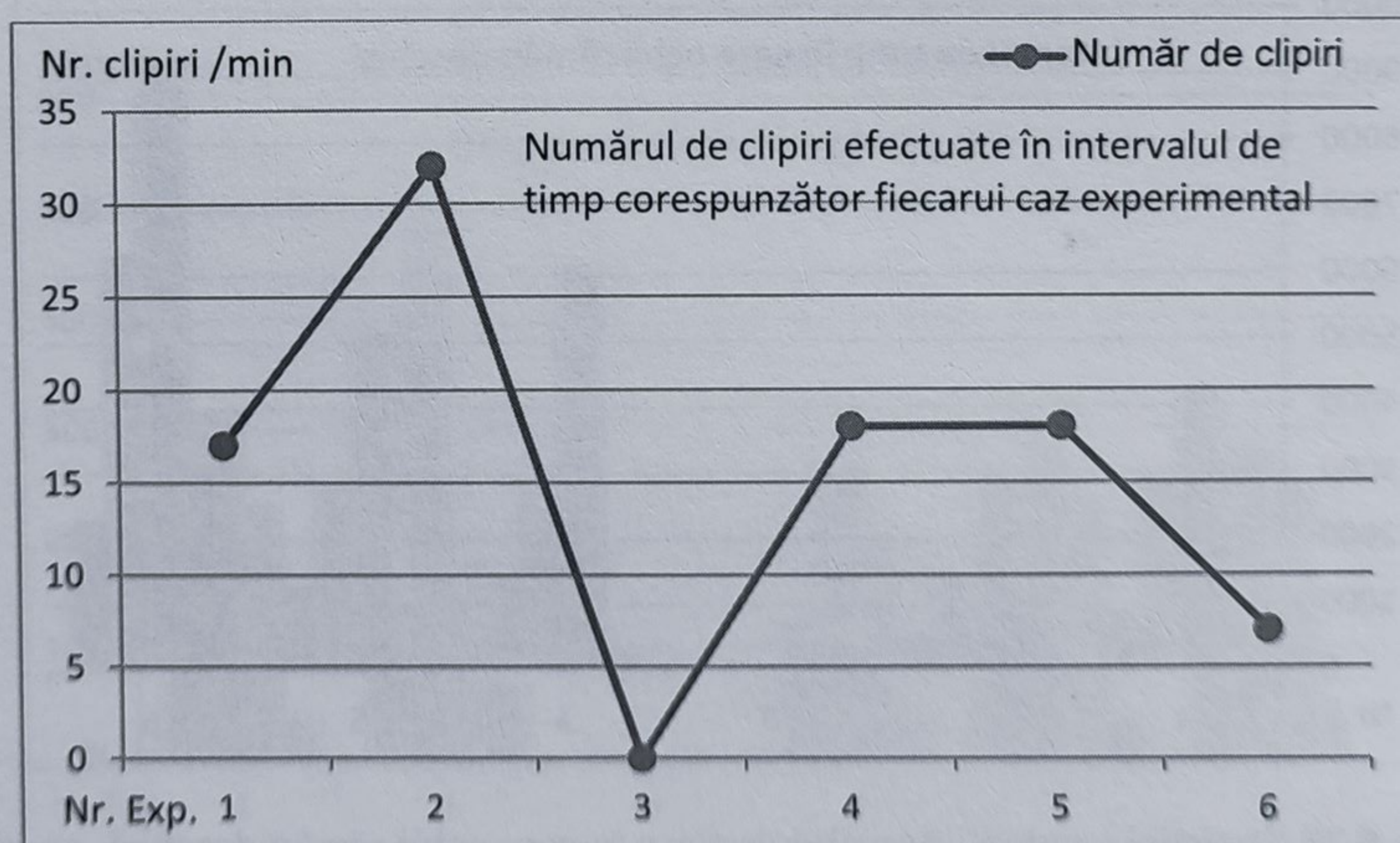


subiectului, conform cu figura 5.30, conduc la ipoteza că aceste valori descriu un nivel de concentrare al atenției vizuale, pentru realizarea sarcinii de lecturare a textului. De asemenea, observând valorile medii foarte apropiate din cazurile 4,5, specifice parametrilor monitorizați, inclusiv numărul de clipiri efectuate de subiect, conform cu figura 5.30, conduc la ipoteza că subiectul uman resimte în mod asemănător influențele celor doi stimuli luminoși.



**Figura 5.29** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

De asemenea, s-a observat lipsa clipitului corespunzător cazului 3, în mod identic cu constatările referitoare la subiecții 1,3 se descrie ipoteza unui nivel de concentrare ridicat al subiectului pentru urmărirea punctului mobil cu mișcare complexă, ce necesită o atenție vizuală ridicată.

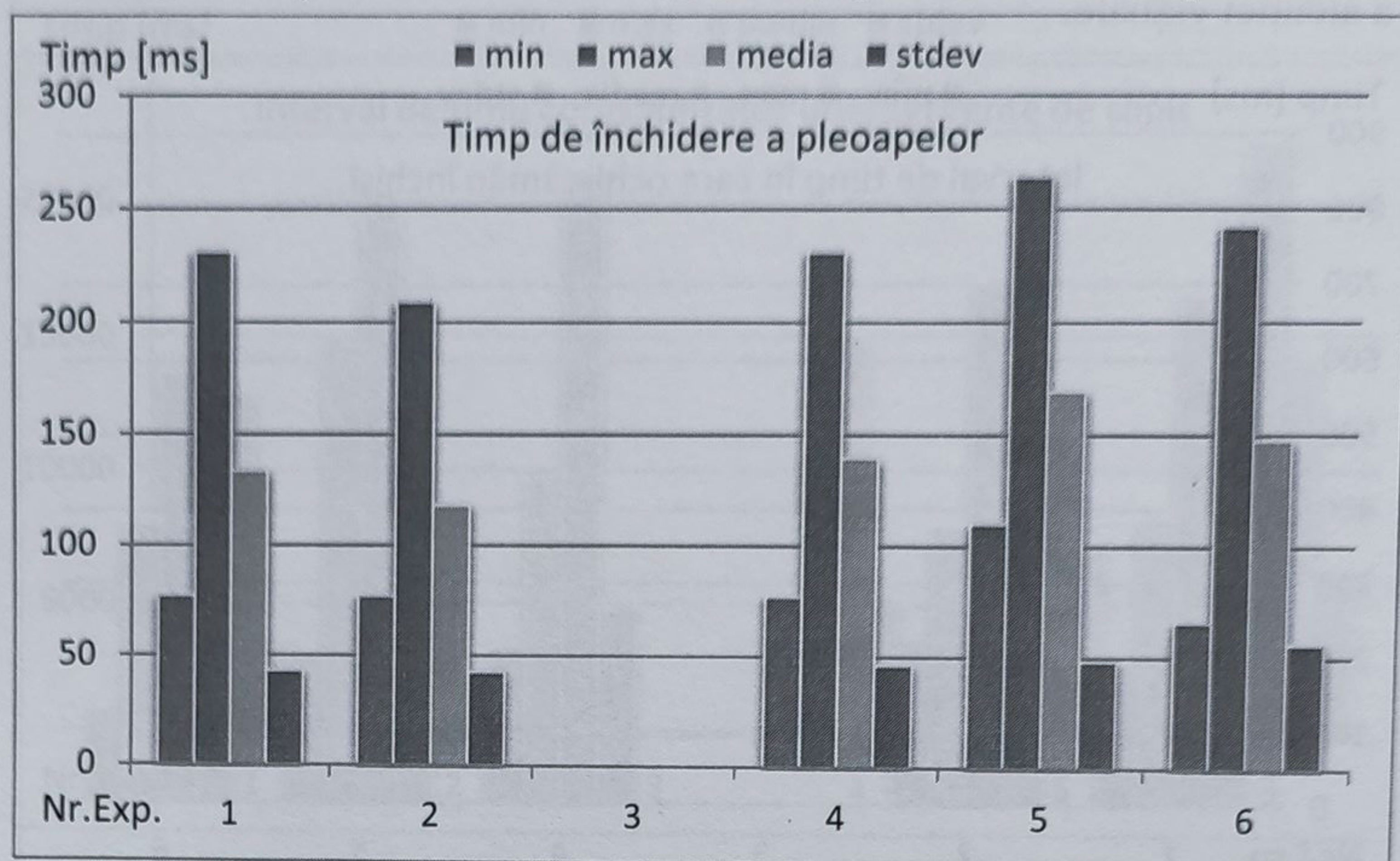


**Figura 5.30** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 4, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



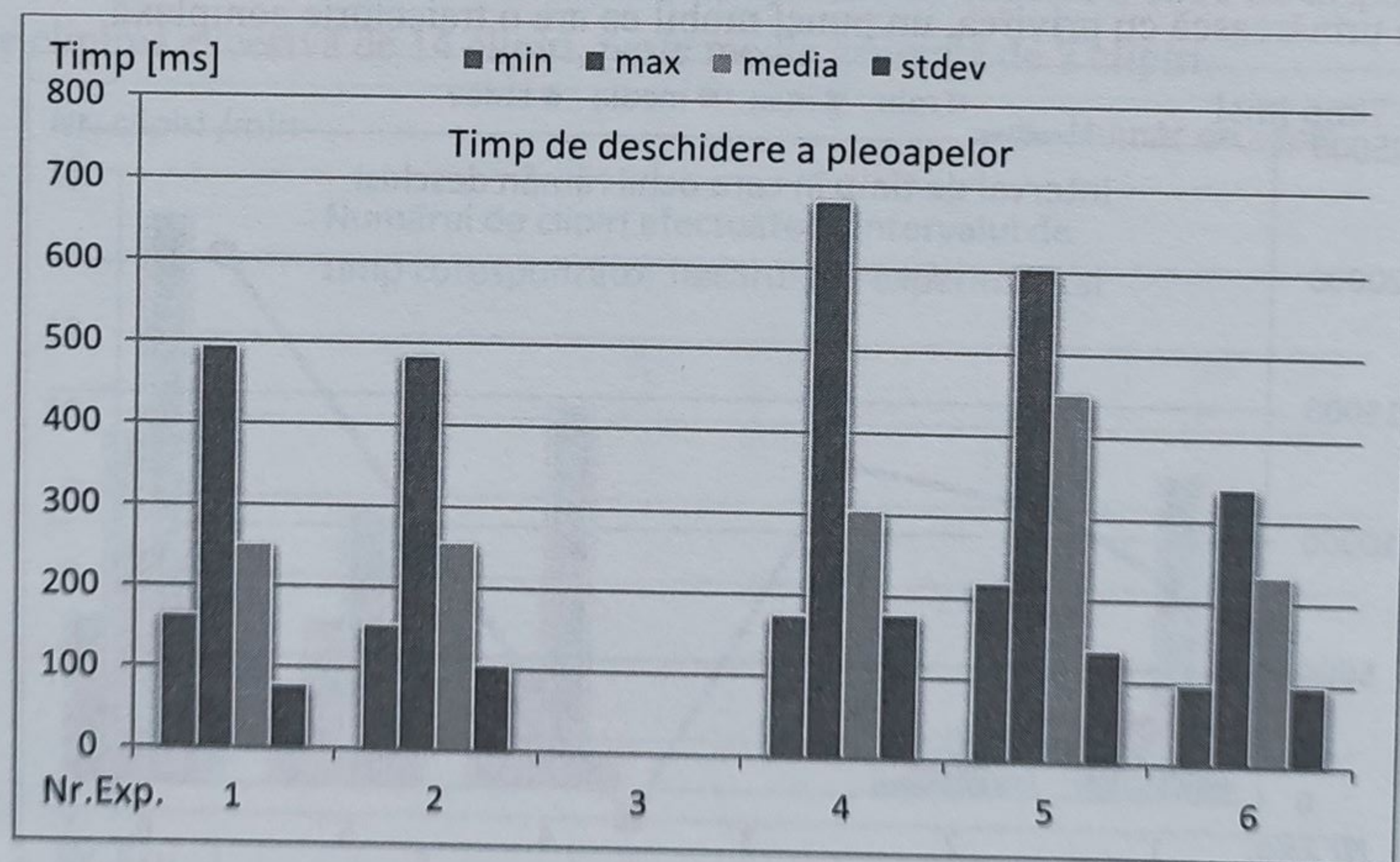
### 5.2.5. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 5

Timpii medii de închidere a pleoapelor măsurați pentru subiect în cadrul cazurilor experimentale, sunt sintetizați în figura 5.31. S-a observat valoarea medie generală a timpului de închidere a pleoapelor de  $140 \pm 50$  ms și un maxim de  $169 \pm 48$  ms, specific cazului experimental cinci.



**Figura 5.31** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

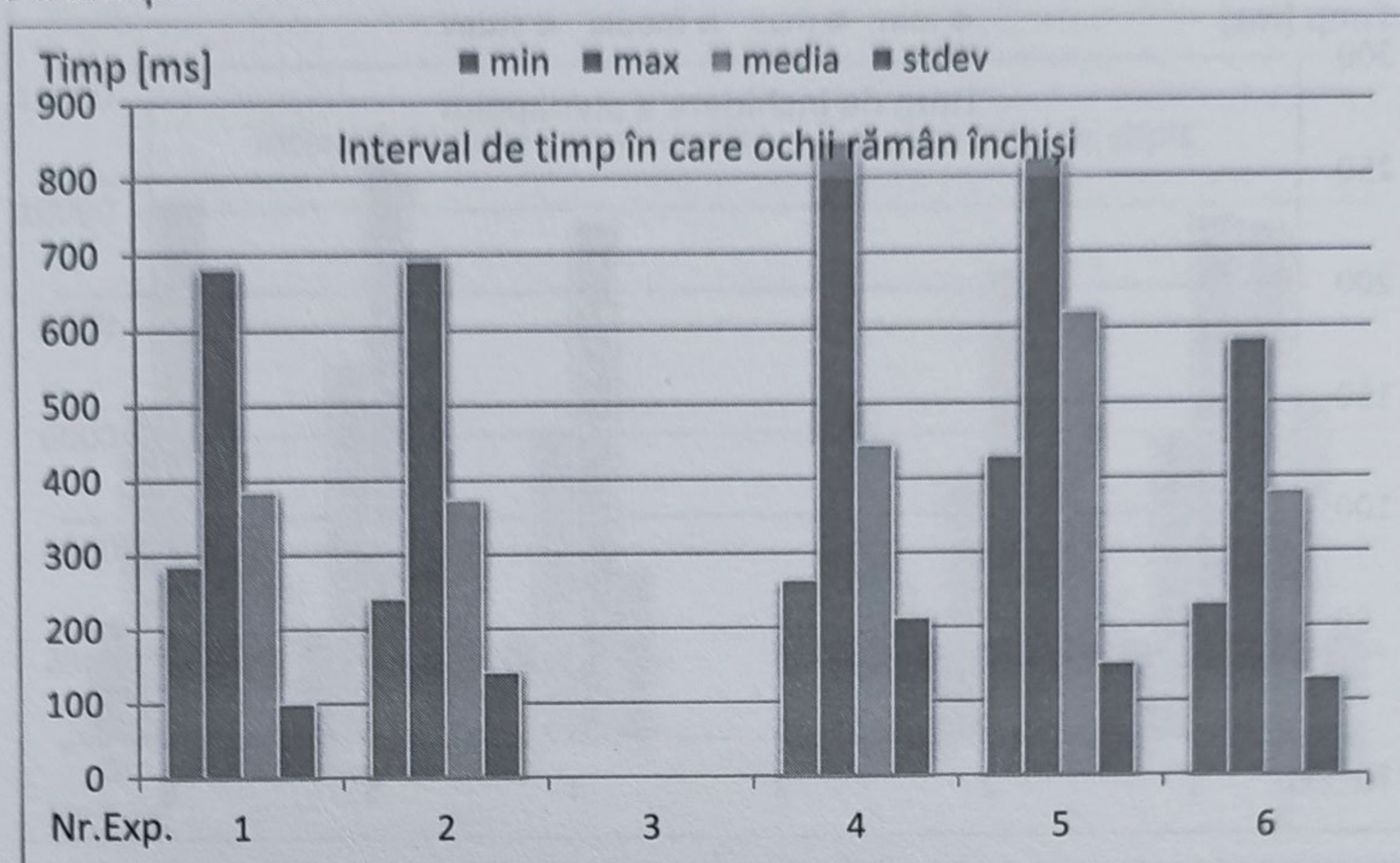
Analizând figura 5.32, se poate observa valoarea medie maximă a timpului de deschidere a pleoapelor  $152 \pm 136$  ms, corespunzător cazului experimental cinci și valoarea minimă  $233 \pm 100$  ms din cazul șase.



**Figura 5.32** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

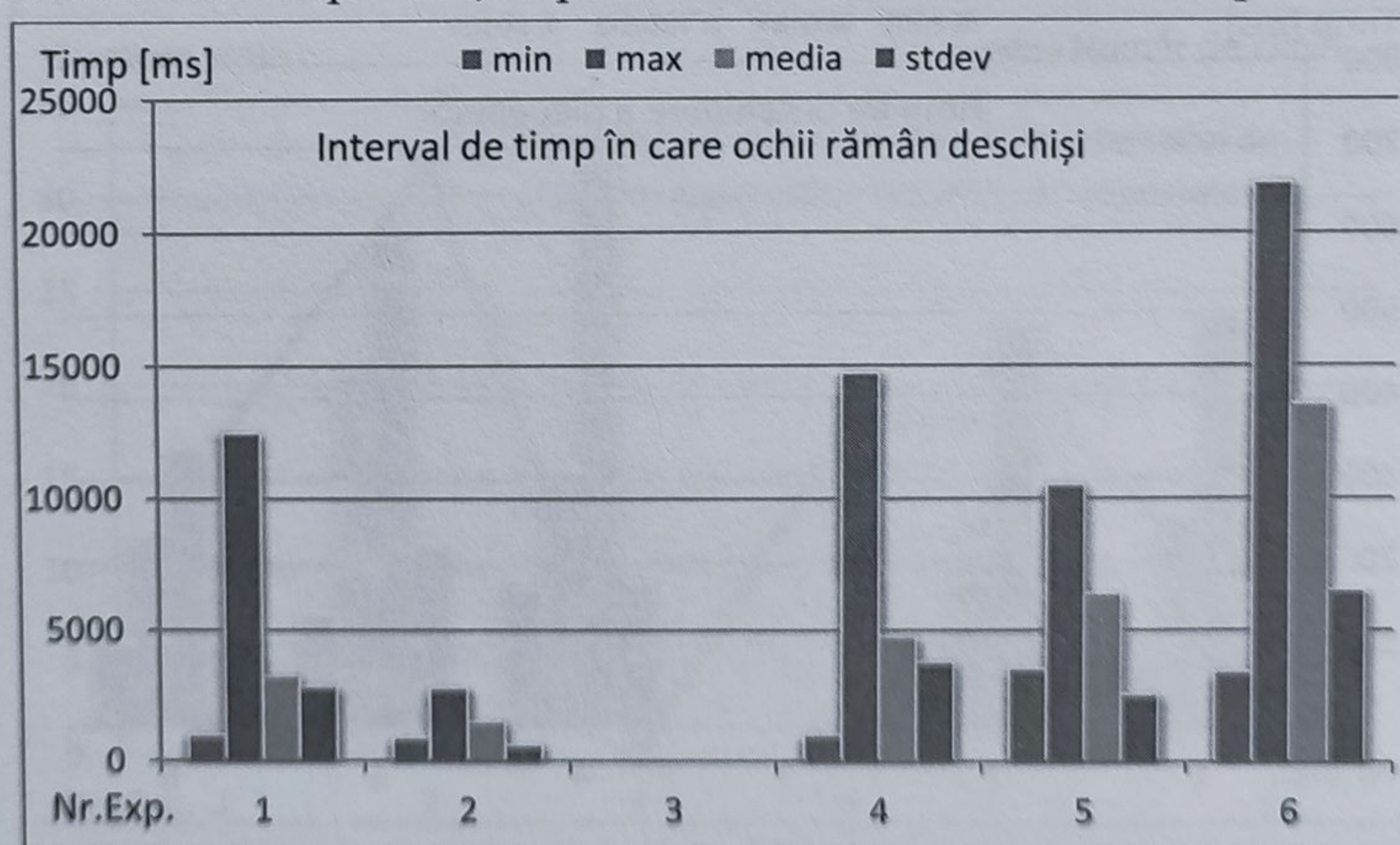


Timpul de deschidere de valoare medie, cumulat cu deschiderea rapidă a pleoapelor, timpul redus în care ochii stau închiși, conform cu figura 5.33, intervalul mare de menținere deschisă a ochilor observat în figura 5.34, și un număr redus de clipiri descrise de figura 5.36, specifice cazului experimental în care subiectul are ca sarcină lecturarea unui text, descriu starea de concentrare a atenției vizuale.



**Figura 5.33** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

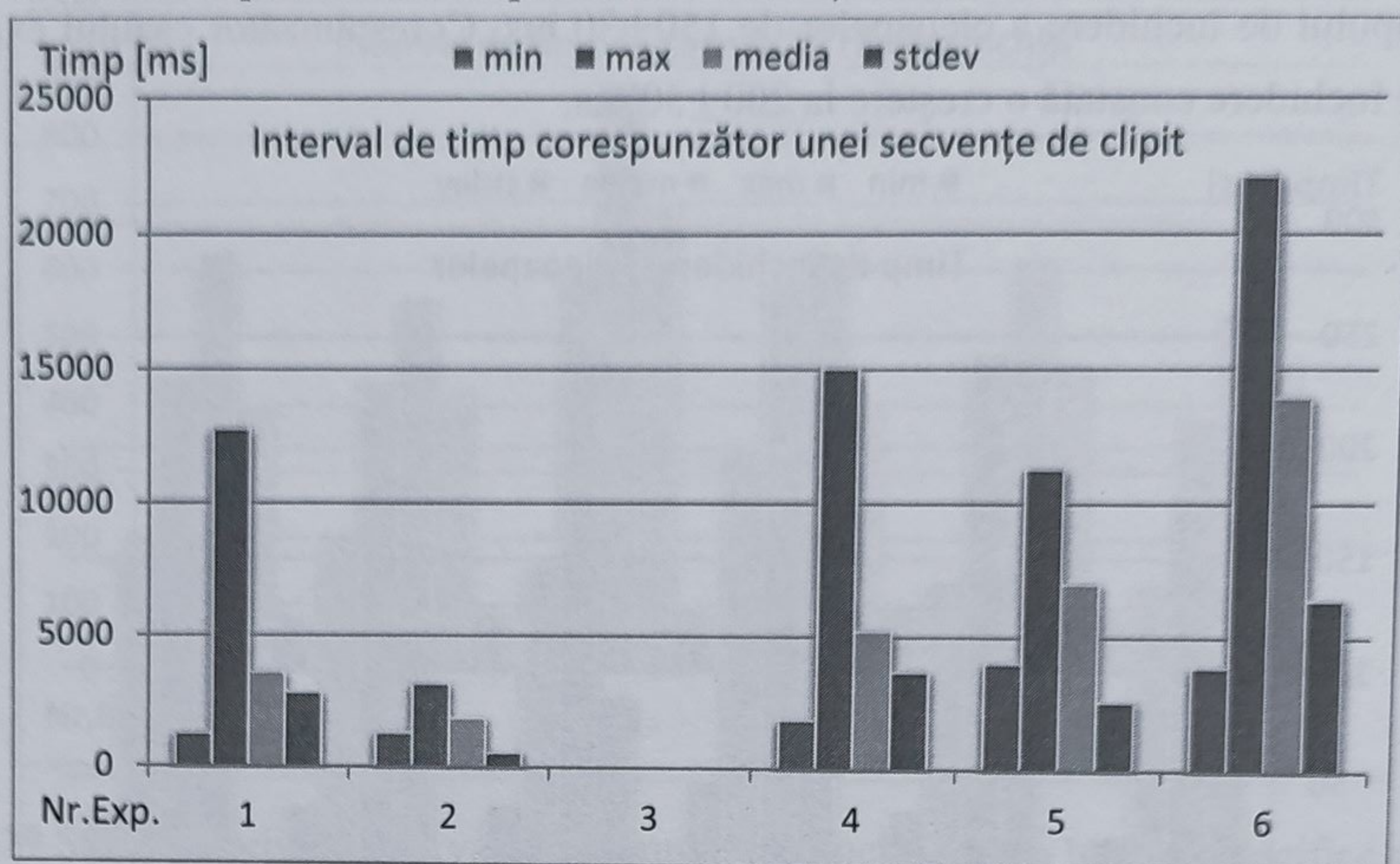
Analizând datele prezentate pentru cazul trei se observă că subiectul uman are aceeași comportare descrisă și pentru subiecții 1,3,4, aceea de a nu clipi pe durata experimentului în care este rugat să urmărească cu privirea, un punct mobil ce are o traiectorie complexă.



**Figura 5.34** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

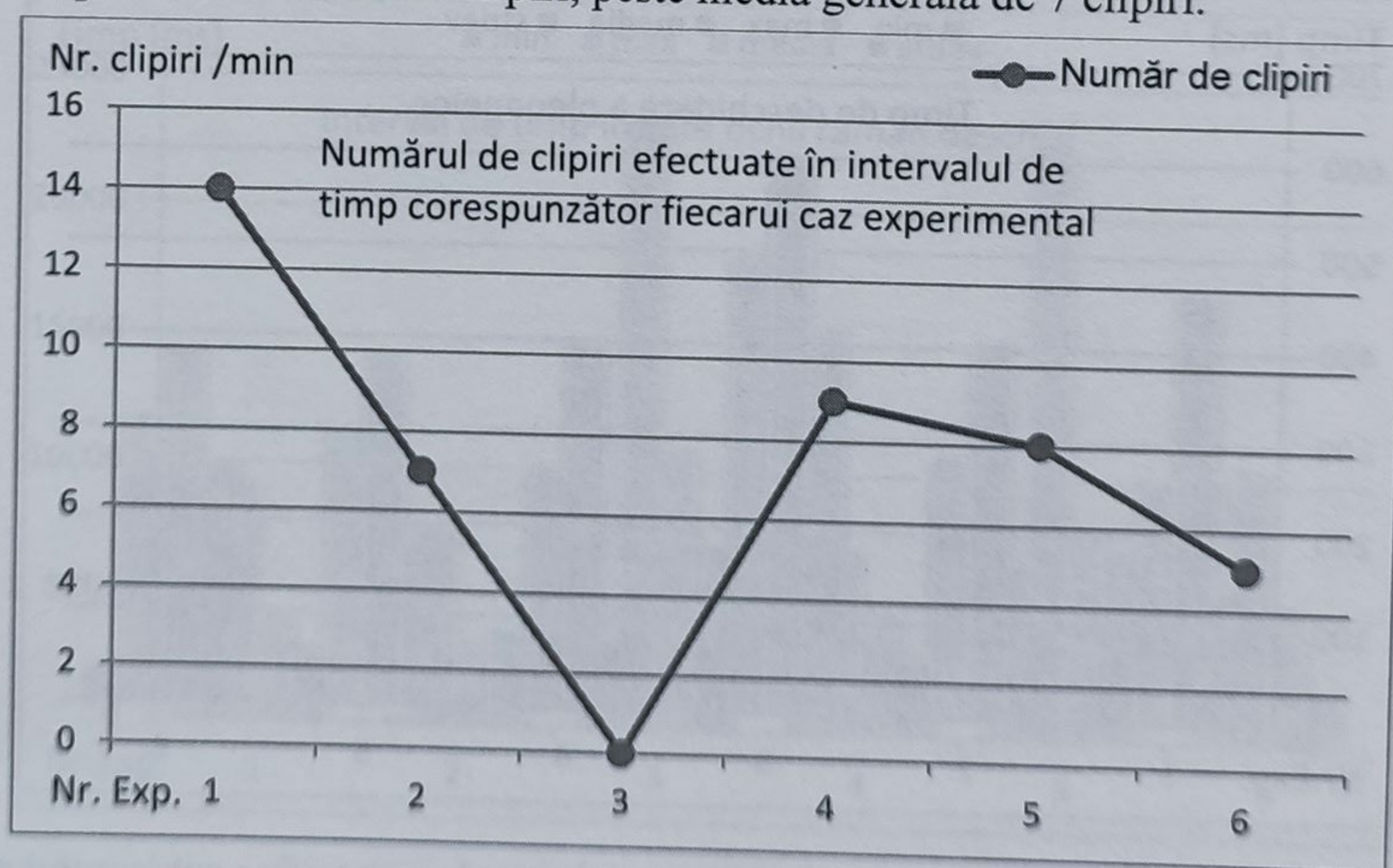


Datorită acestui comportament întâlnit în aceeași situație experimentală la patru subiecți, autorul formulează ipoteza că lipsa clipitului poate explica o stare de concentrare ridicată, pentru realizarea unei sarcini specifice ce nu provoacă o senzație e disconfort.



**Figura 5.35** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

Conform figura 5.36, ce prezintă un număr ridicat de clipiri, corespunzătoare situației în care subiectul își focalizează privirea asupra unui punct. Considerând intervalul ridicat în care ochii subiectului rămân închiși, autorul deduce că acești parametri descriu o stare de disconfort vizual, ce produce clipirea excesivă de 14 clipiri, peste media generală de 7 clipiri.

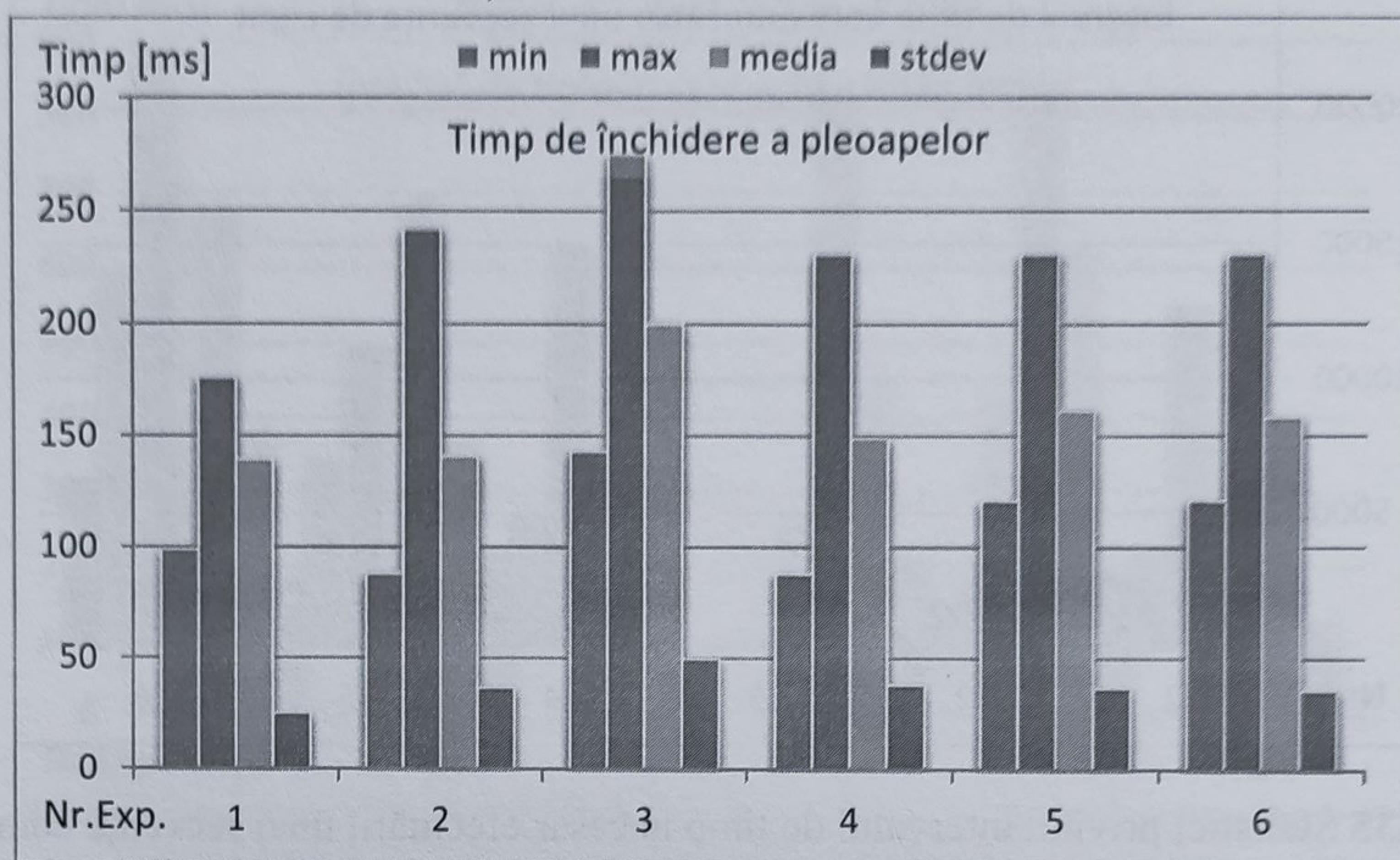


**Figura 5.36** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 5, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



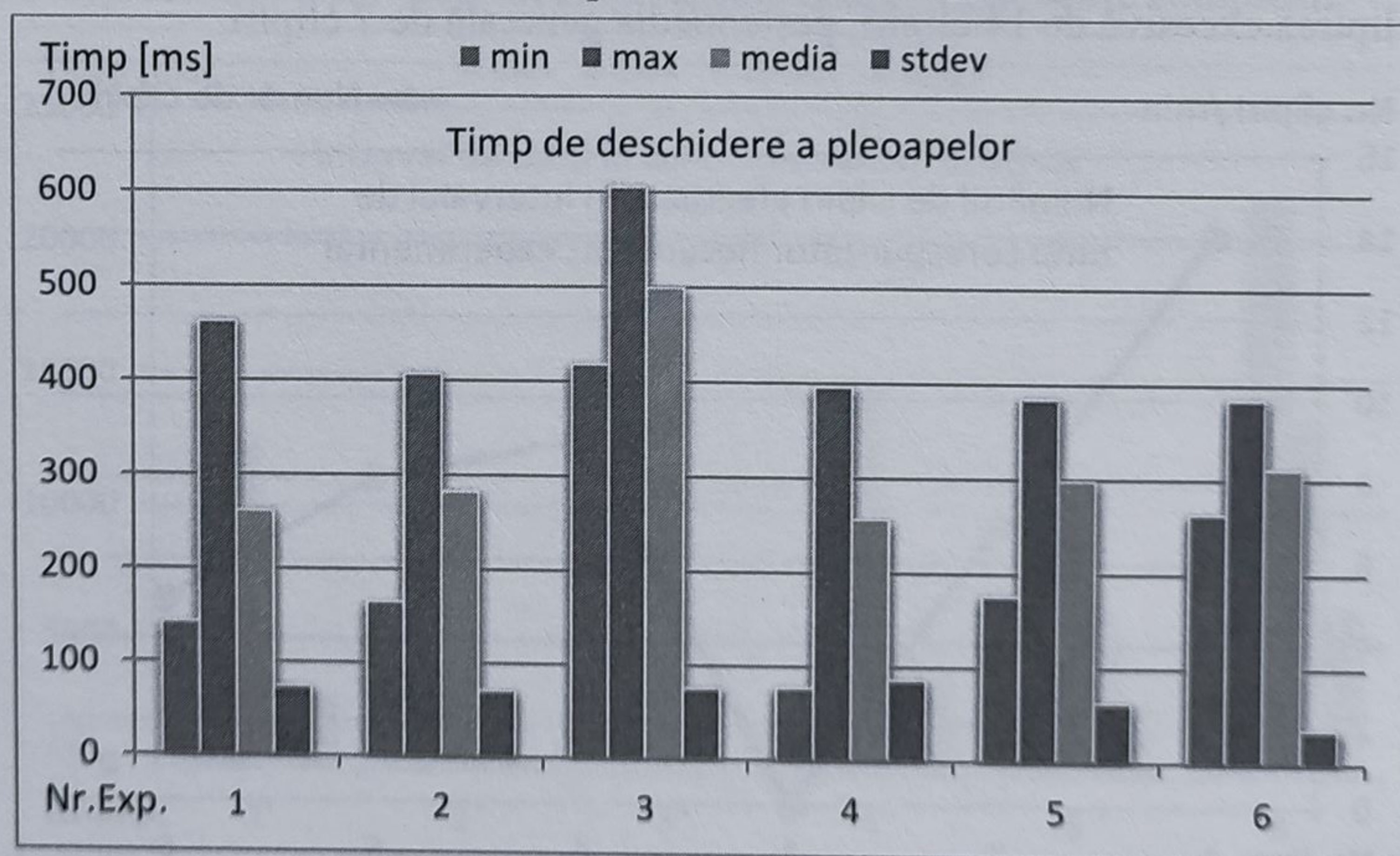
### 5.2.6. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 6

Rezultatele experimentale, privind timpii medii de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 6 sunt prezentate în figura 5.37. Analizând această figură, se poate observa valoarea medie a timpului de închidere a pleoapelor de  $150 \pm 30$  ms. Corespunzător cazului experimental 3, timpul de închidere constată o creștere la  $200 \pm 50$  ms.



**Figura 5.37** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

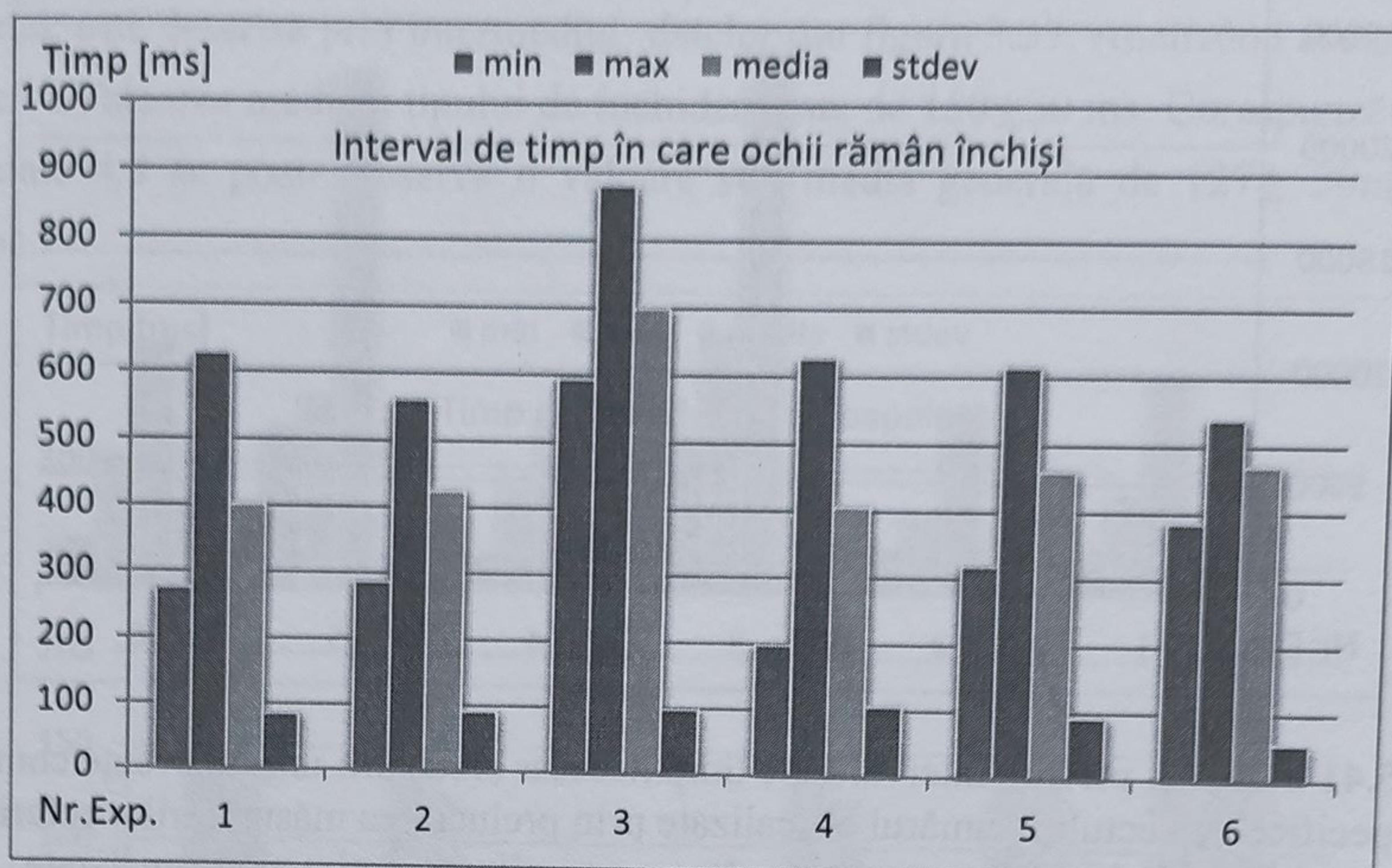
În figura 5.38 sunt prezentați timpii de deschidere a pleoapelor. Conform acesteia, media generală a timpului de deschidere a pleoapelor este de  $280 \pm 70$  ms, iar valoarea maximă este întâlnită în cazul 3, unde valoarea acestui parametru este  $500 \pm 75$  ms.



**Figura 5.38** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

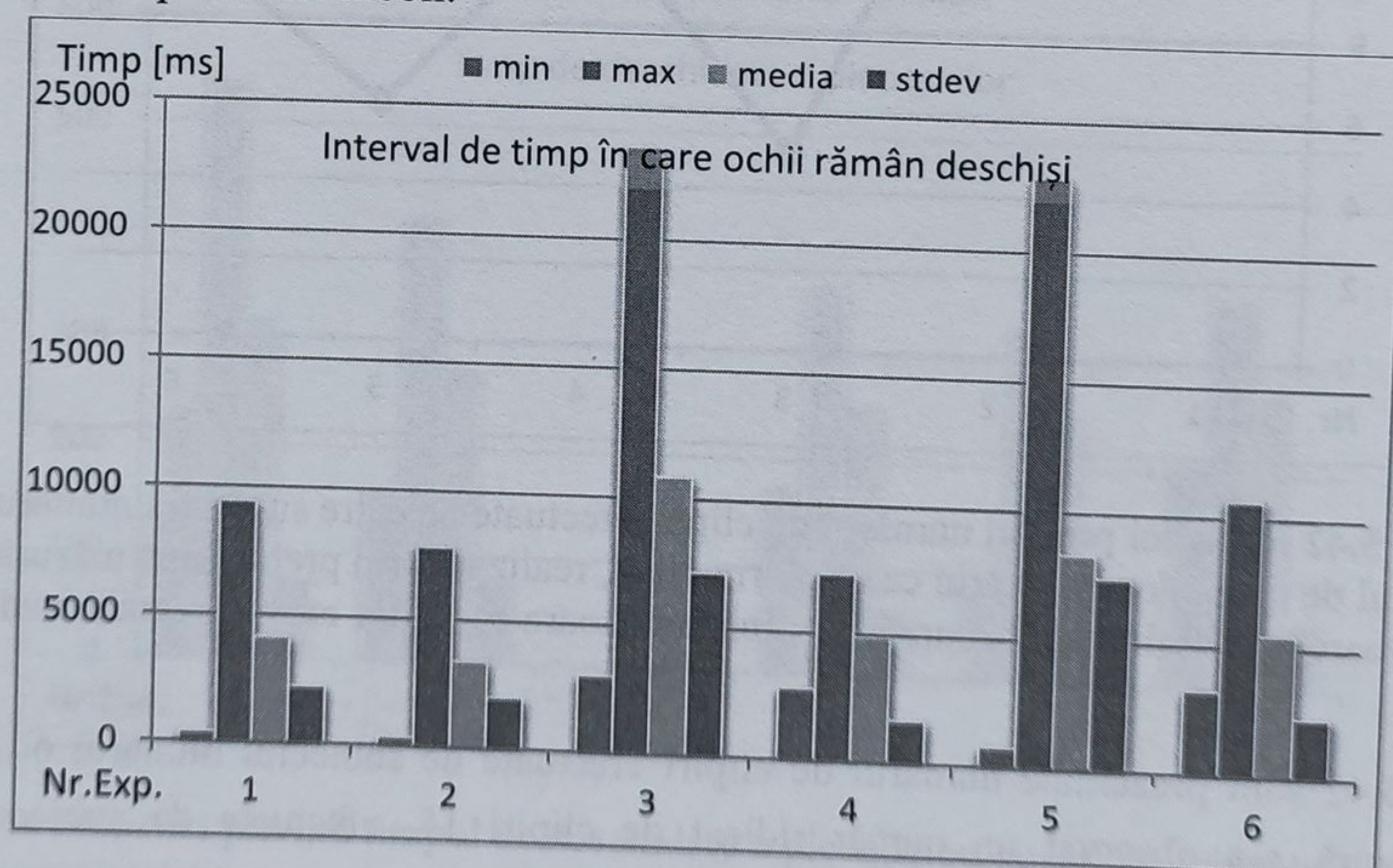


Analizând timpii cât ochii rămân închiși, conform datelor prezentate în figura 5.39, s-a observat că valoarea medie generală este de  $400 \pm 80$  ms, și un maxim se atinge în cazul 3 cu valoarea de  $700 \pm 90$  ms.



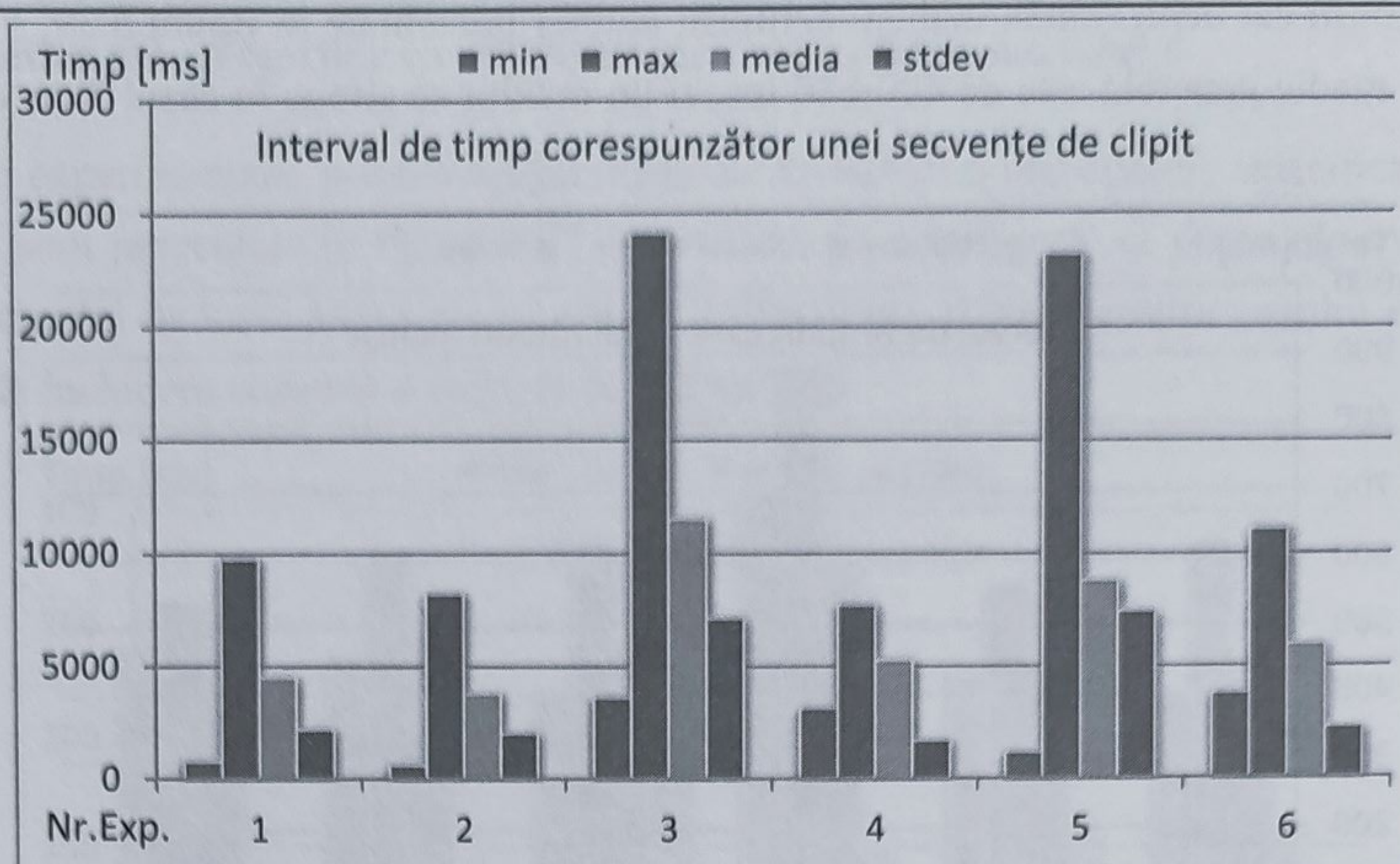
**Figura 5.39** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

Timpii cât ochii rămân deschiși sunt prezentați în figura 5.40. Analizând această figură, se poate observa că timpul corespunzător cazului 3 de  $10841 \pm 7163$  ms, reprezintă valoarea maximă. Valoarea ridicată a acestui parametru, împreună cu numărul de clipiri reduse, conform datelor prezentate în figura 5.42, pot descrie nivelul ridicat de concentrare a atenției vizuale pentru a urmări traiectoria punctului mobil.



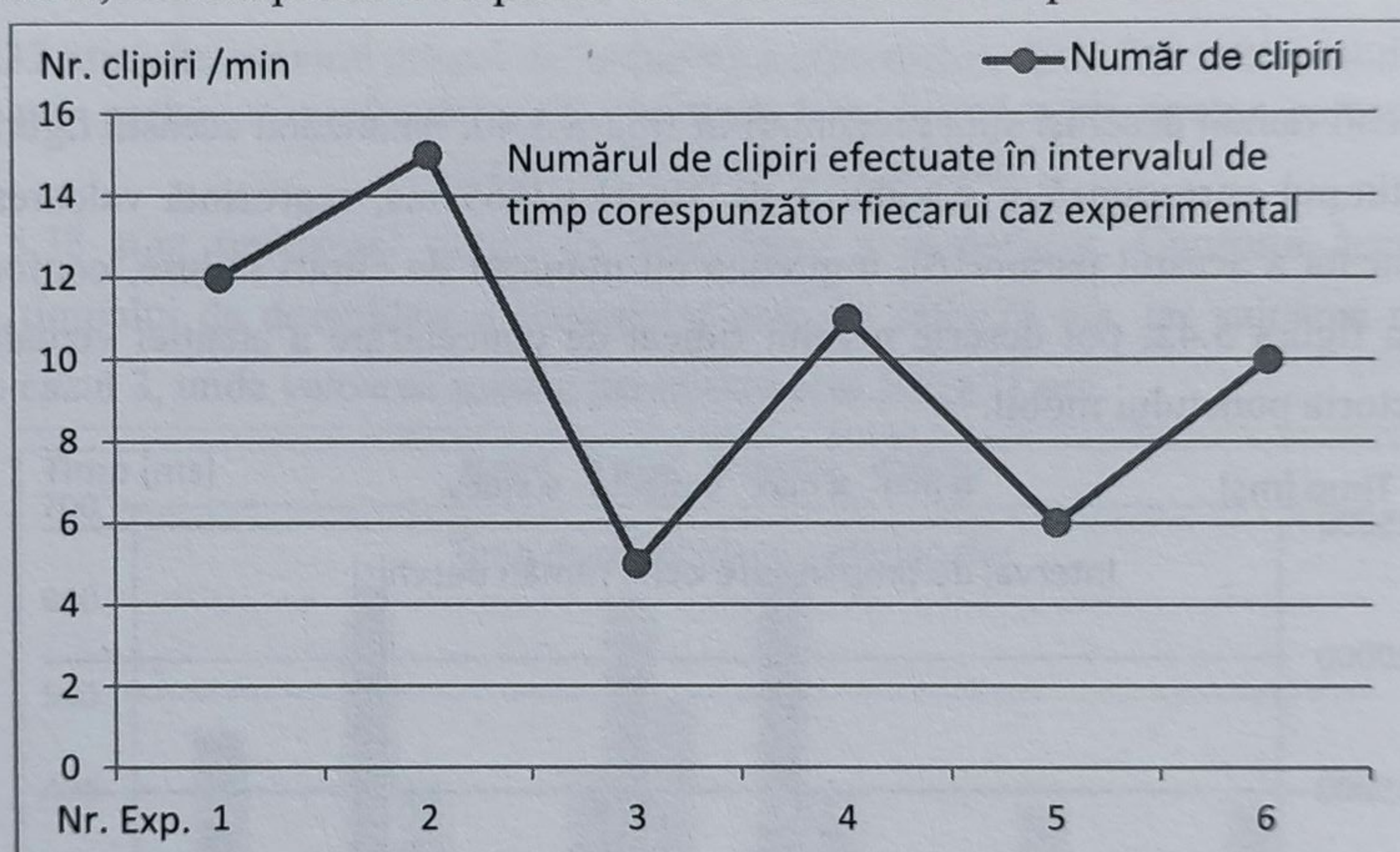
**Figura 5.40** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate





**Figura 5.41** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

În figura 5.41 sunt prezentați timpii corespunzători unei secvențe de clipit. Se poate observa corespunzător cazului 3 valoarea maximă de  $11541 \pm 7150$  ms, ceea ce poate descrie un clipit rar de scurtă durată, realizat pentru a nu pierde din vedere localizarea punctului mobil.



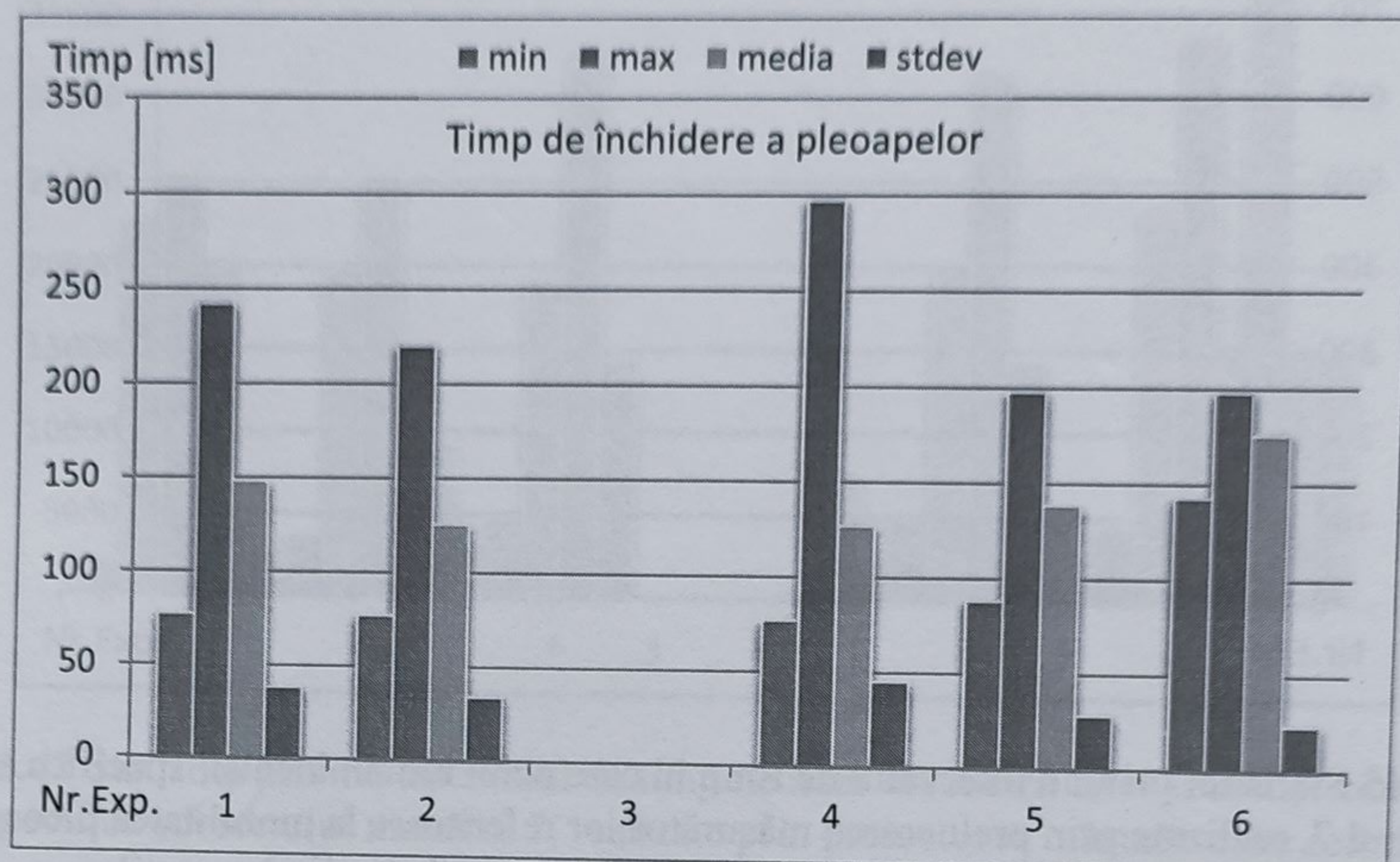
**Figura 5.42** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 6, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

În figura 5.42 sunt prezentate numărul de clipiri efectuate de subiectul numărul 6. Analizând această figură, s-a observat un număr ridicat de clipiri 15, efectuate de subiect în cazul experimental 2. De asemenea, un număr de 12 clipiri sunt specifice cazului 1, și aceste pot indica împreună cu timpul în care ochii rămân deschiși, senzația de disconfort cauzată de focalizarea privirii asupra unui punct fix timp de 60 de secunde.

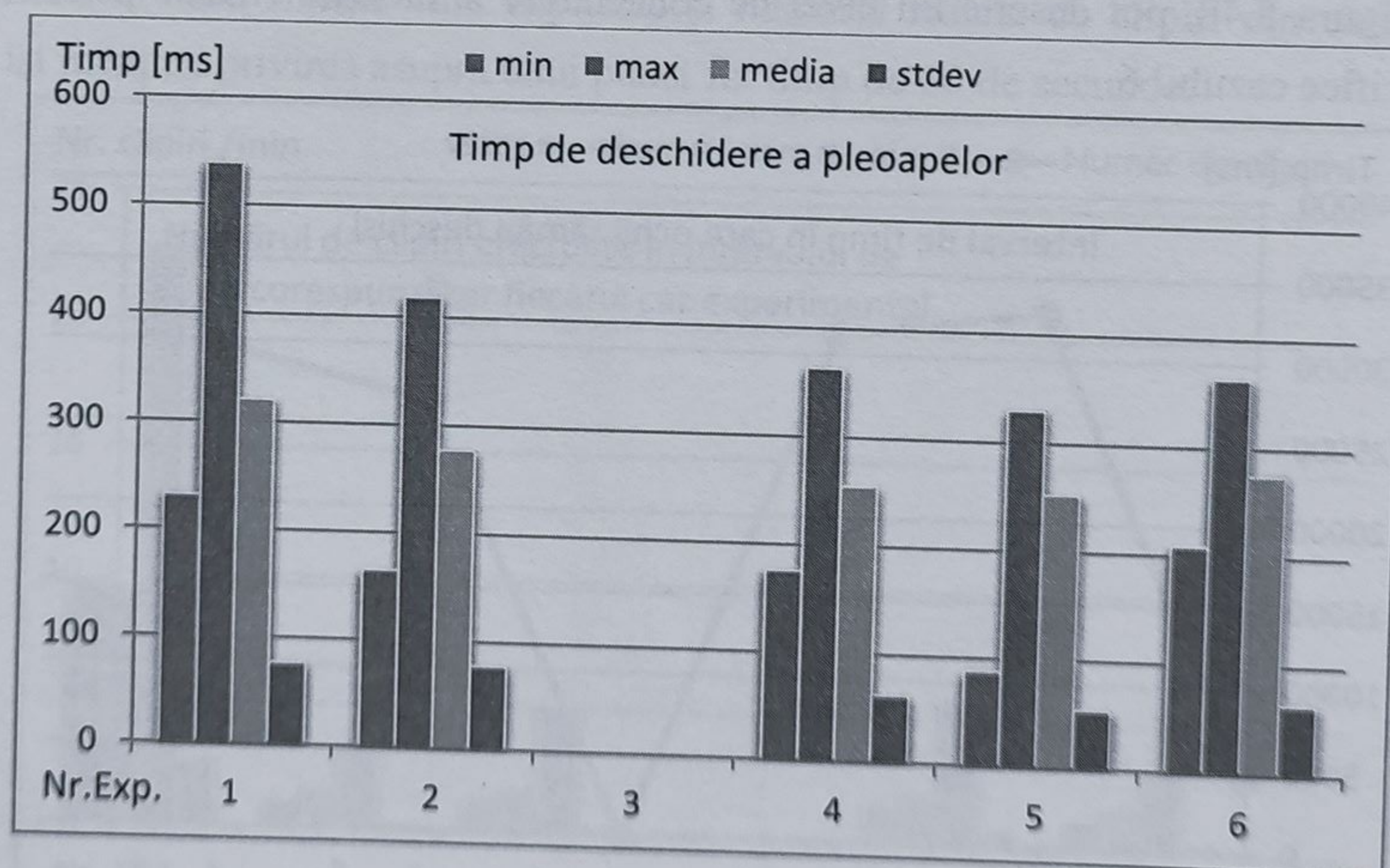


### 5.2.7. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 7

Mobilitatea pleoapelor corespunzătoare subiectului numărul 7, specifică fiecărui caz experimental, este descrisă prin intermediul datelor din figura 3.37. Analizând această figură, se poate observa valoarea medie a tipului de închidere este de  $150 \pm 30$  ms. Corespunzător cazurilor experimentale 4,5 se poate observa o valoare sub media generală de  $127 \pm 30$  ms, respectiv  $134 \pm 28$  ms.



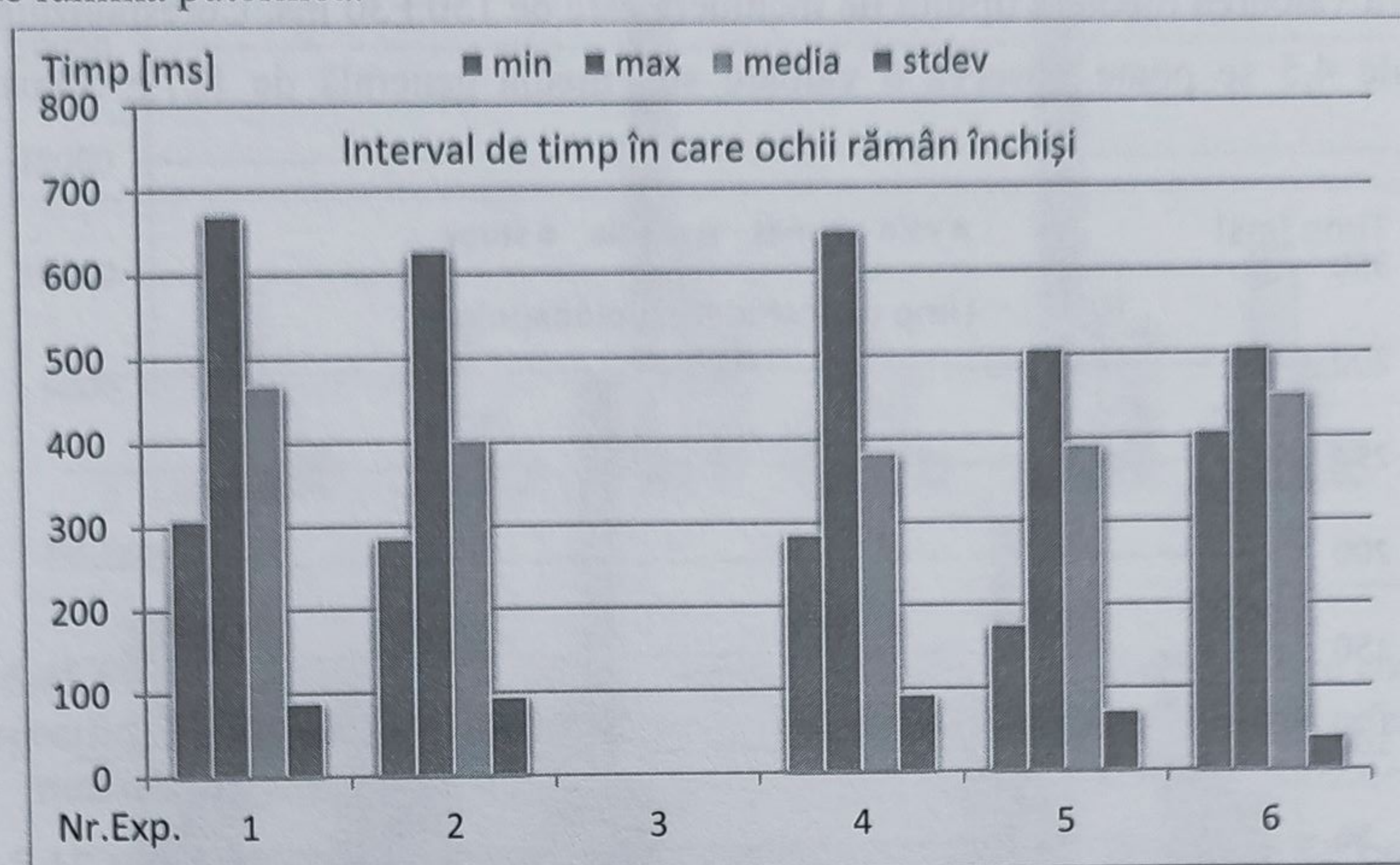
**Figura 5.43** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 7, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



**Figura 5.44** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 7, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

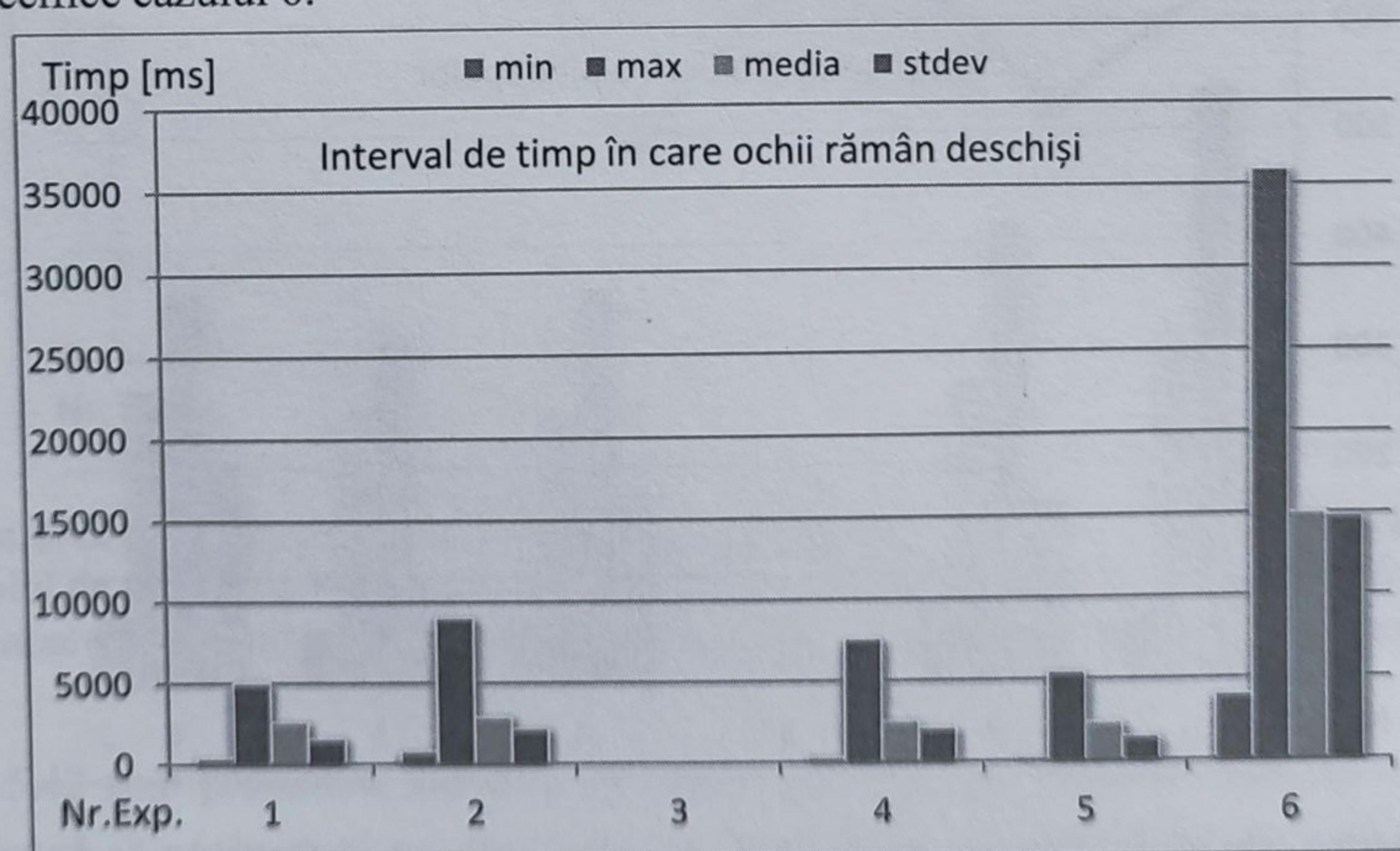


Valorile scăzute ale timpului de închidere, cumulate cu valorile medii de  $250 \pm 50$  ms ale timpului de deschidere a pleoapelor, prezentate în figura 5.44 și cu numărul ridicat de clipiri 20, respectiv 22, descrise de figura 5.48, conduc la ipoteza că acești parametri descriu un stres vizual provocat de lumina puternică.



**Figura 5.45** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 7, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

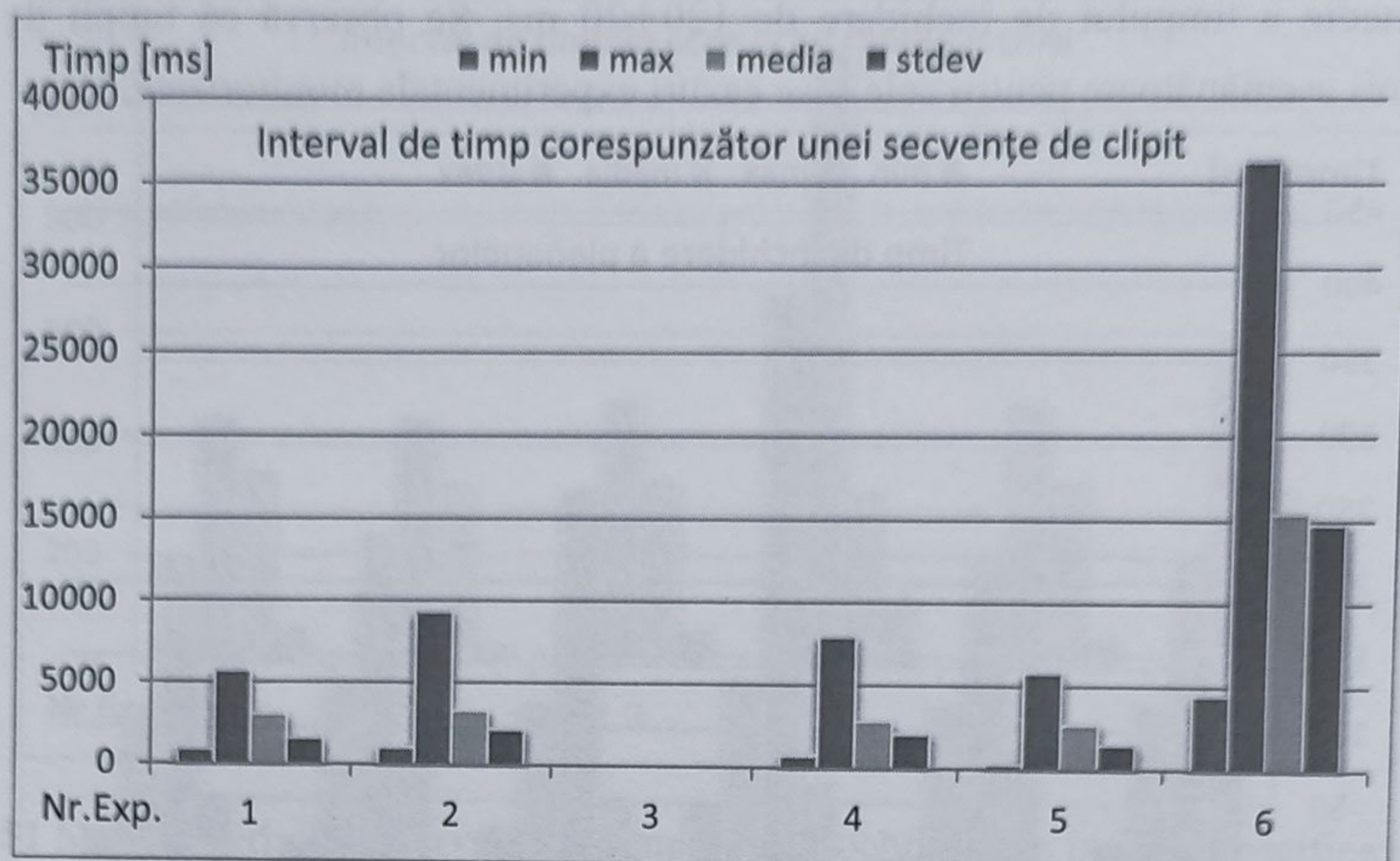
Examinând figura 5.45, în care sunt prezentați timpii în care ochii rămân deschiși, se poate observa o valoare maximă specifică cazului 6, iar aceasta împreună cu numărul redus de clipiri, descris de figura 5.48, pot descrie un nivel de concentrare al atenției vizuale pentru realizarea sarcinii specifice cazului 6.



**Figura 5.46** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 7, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

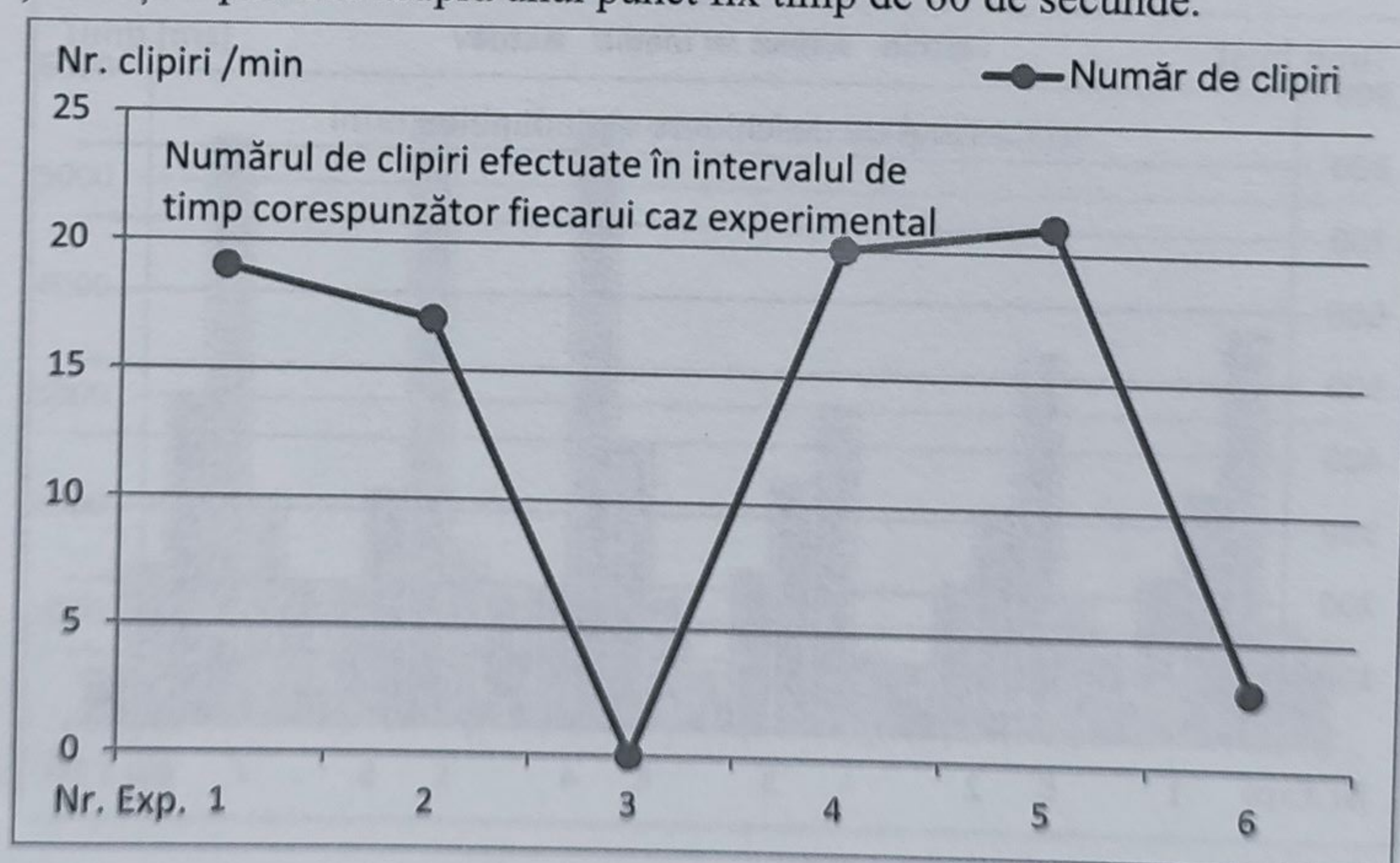


De asemenea, analizând parametrii specifici cazului 3 s-a observat același comportament ca și în cazul altor subiecți precedenți, și anume lipsa clipitului, fapt poate fi explicat ca un nivel ridicat de concentrare al atenției vizuale, pentru a urmări traiectoria punctului mobil.



**Figura 5.47** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 7, realizate prin prelucrarea măsurărilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

Numărul de clipiri, prezentat în figura 5.48, indică un număr ridicat de clipiri specifice cazurilor 4,5, ceea ce poate indica faptul că stimulii luminoși pe care subiectul îi percepe, creează acestuia un disconfort. În mod similar sunt explicate și numărul ridicat de clipiri din cazul 1, în care subiectul își menține privirea asupra unui punct fix timp de 60 de secunde.

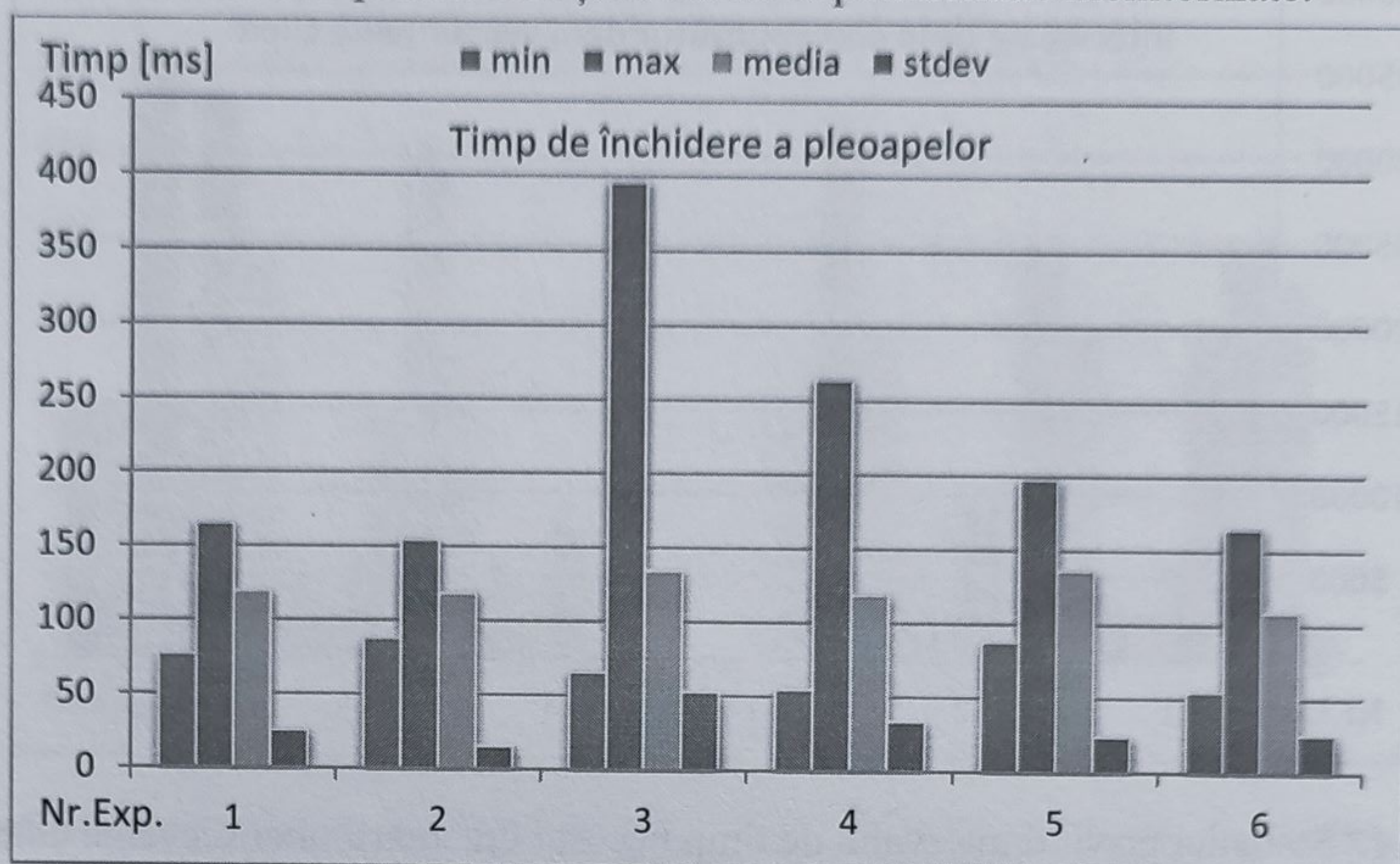


**Figura 5.48** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 7, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurărilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



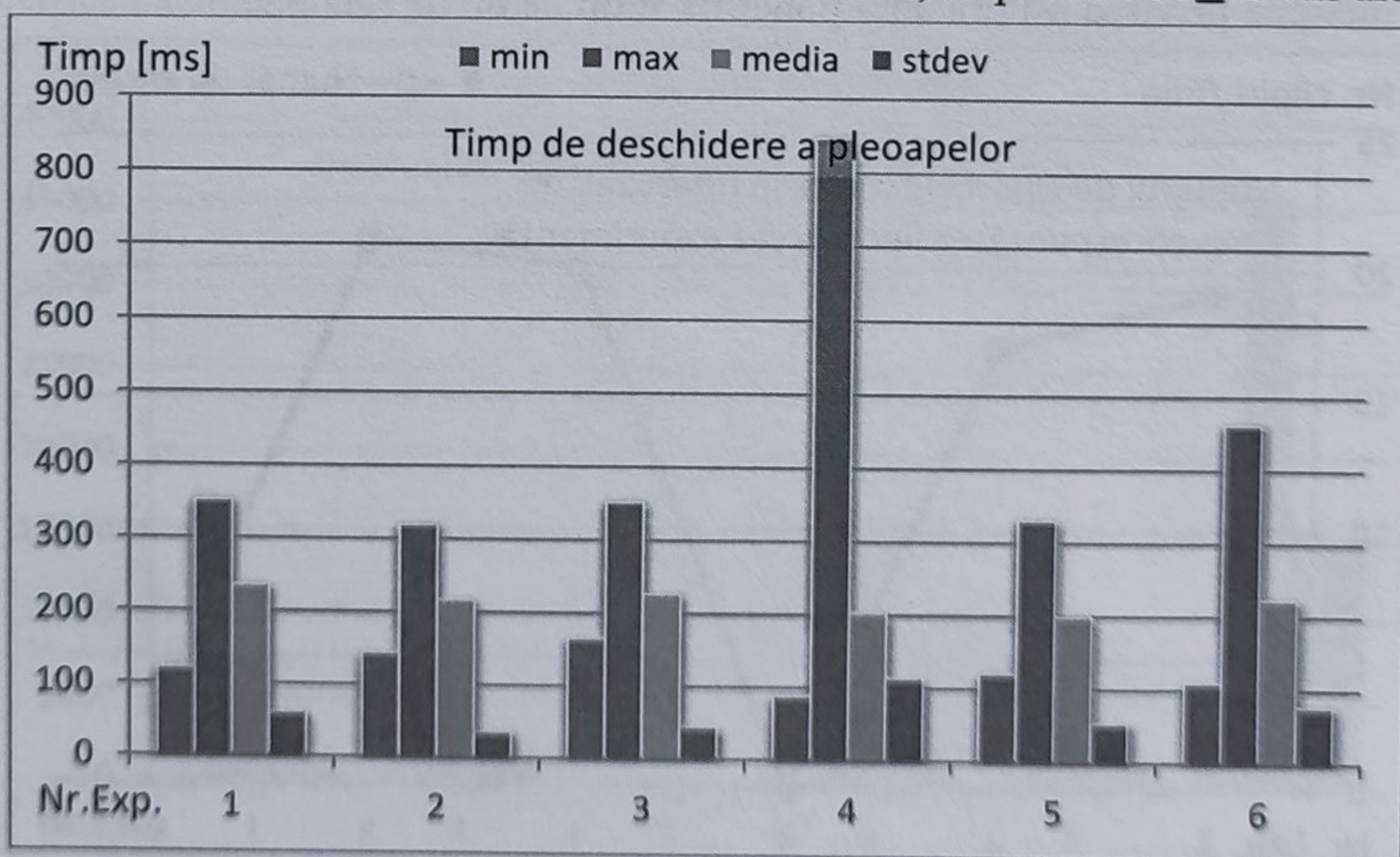
### 5.2.8. Analiza măsurătorilor corespunzătoare subiectului numărul 8

Timpii de închidere a pleoapelor specifici cazurilor experimentale analizate, corespunzători subiectului numărul 8, sunt prezentați în figura 5.49. Analizând această figură, se poate observa o valoare medie a timpului de închidere de  $120 \pm 20$  ms. Se observă că timpii de închidere prezintă valori asemănătoare pentru cele șase cazuri experimentale monitorizate.



**Figura 5.49** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 8, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

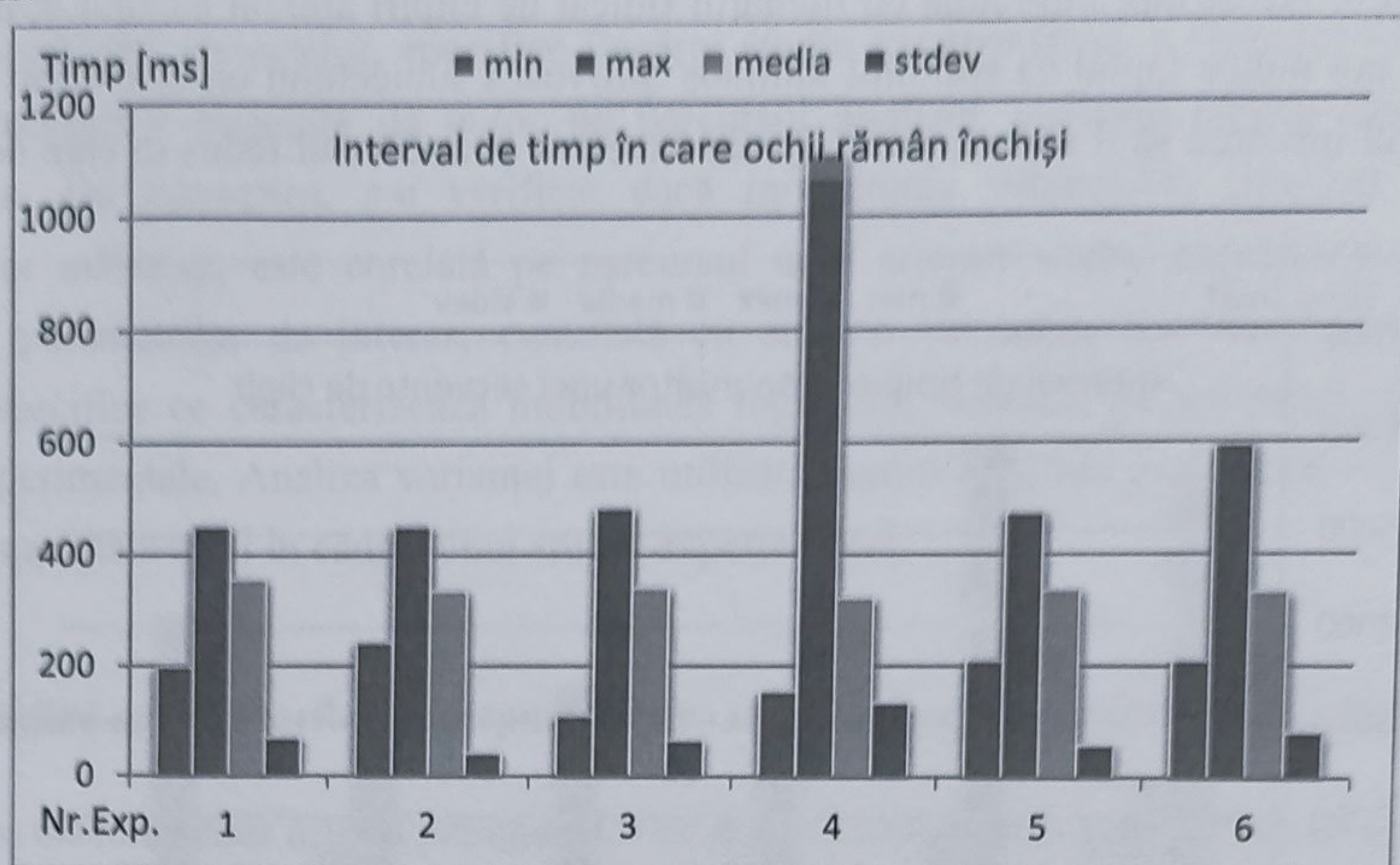
Evoluția timpilor de deschidere a pleoapelor este prezentată în figura 5.50. Conform acestei figuri, s-a observat că timpul de deschidere a pleoapelor are o valoare medie de  $220 \pm 20$  ms. S-a constatat pentru cazurile 4,5, valori minime de  $200 \pm 113$  ms, respectiv  $200 \pm 53$  ms ale acestuia.



**Figura 5.50** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice subiectului numărul 8, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

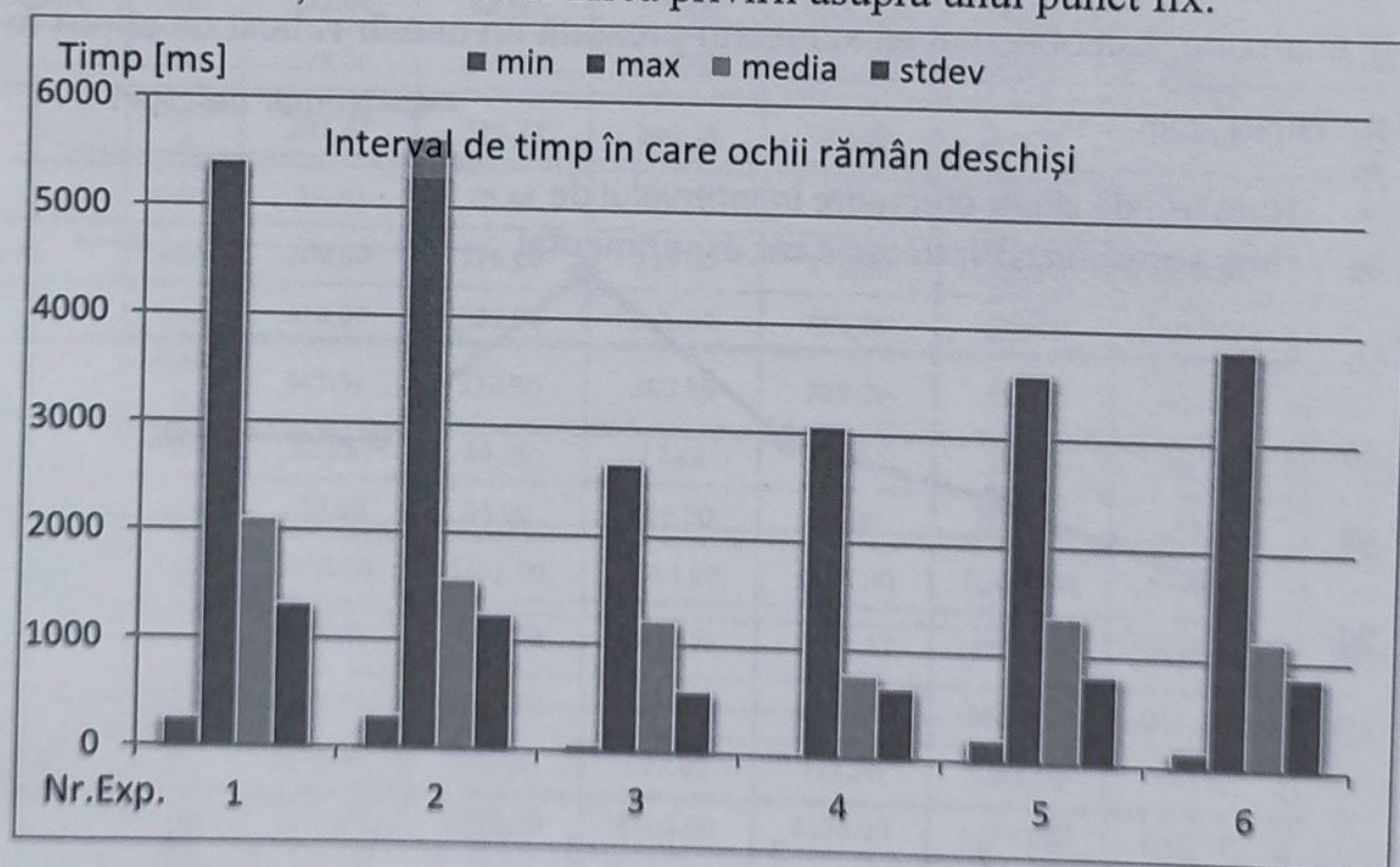


Intervalul de timp în care ochii rămân închiși este analizat prin intermediul datelor experimentale prezentate în figura 5.51. Valoarea medie a timpului cât ochii rămân închiși prezintă o medie de  $340 \pm 70$  ms.



**Figura 5.51** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice subiectului numărul 8, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

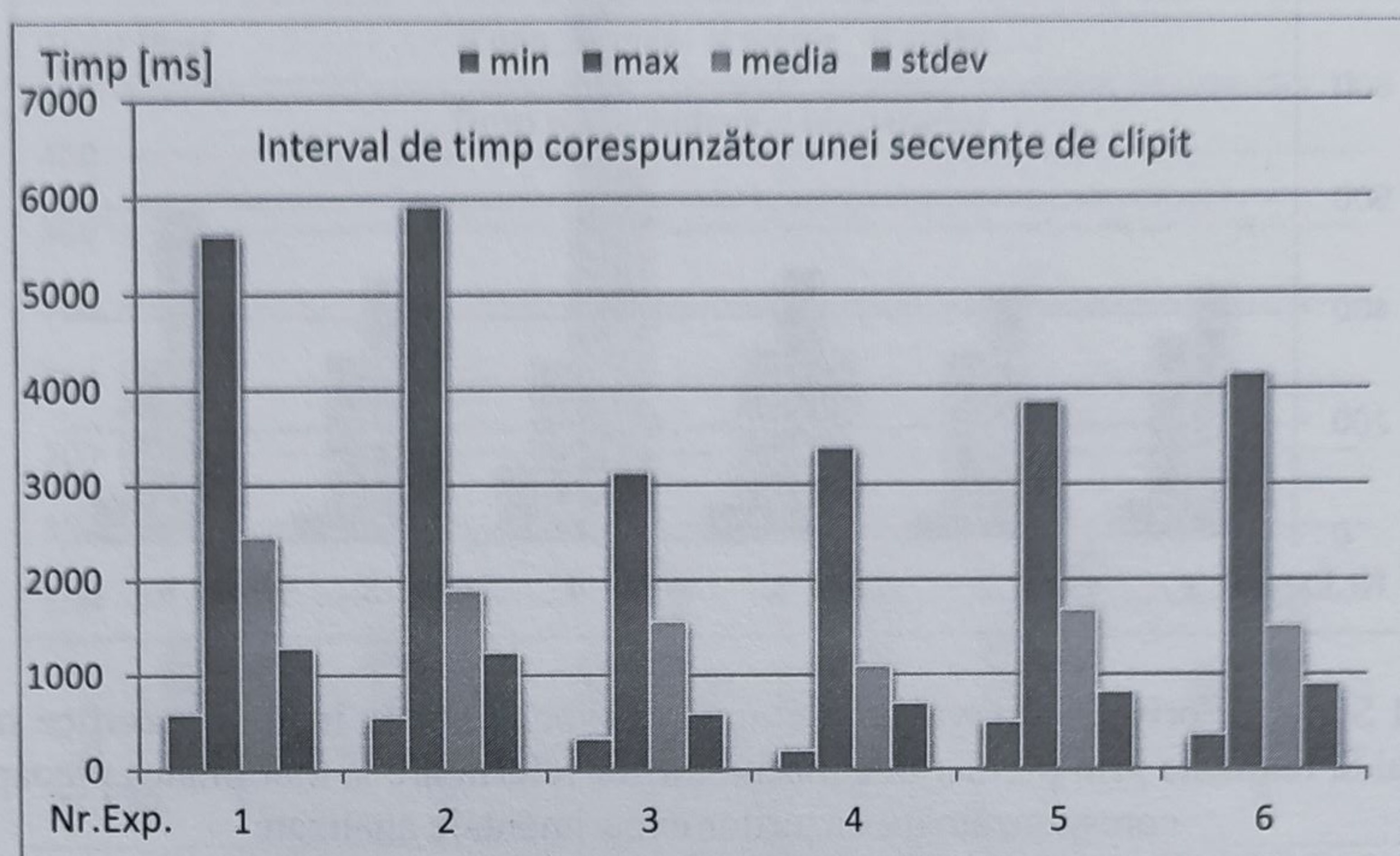
Rezultatele măsurătorilor referitoare la intervalul în care ochii rămân deschiși sunt prezentate în figura 5.52. Conform cu figura 5.52, se poate observa că valoarea medie a timpului cât ochii rămân deschiși este de  $1200 \pm 700$  ms. Se poate observa, că acest parametru prezintă valoarea maximă corespunzătoare de  $2100 \pm 1320$  ms corespunzătoare cazului 1 și un minim de  $770 \pm 660$  ms, corespunzătoare cazului 4. Valorile acestor parametri pot indica apariția unui disconfort, cauzat de stimulii luminoși sau de focalizarea privirii asupra unui punct fix.



**Figura 5.52** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice subiectului numărul 8, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

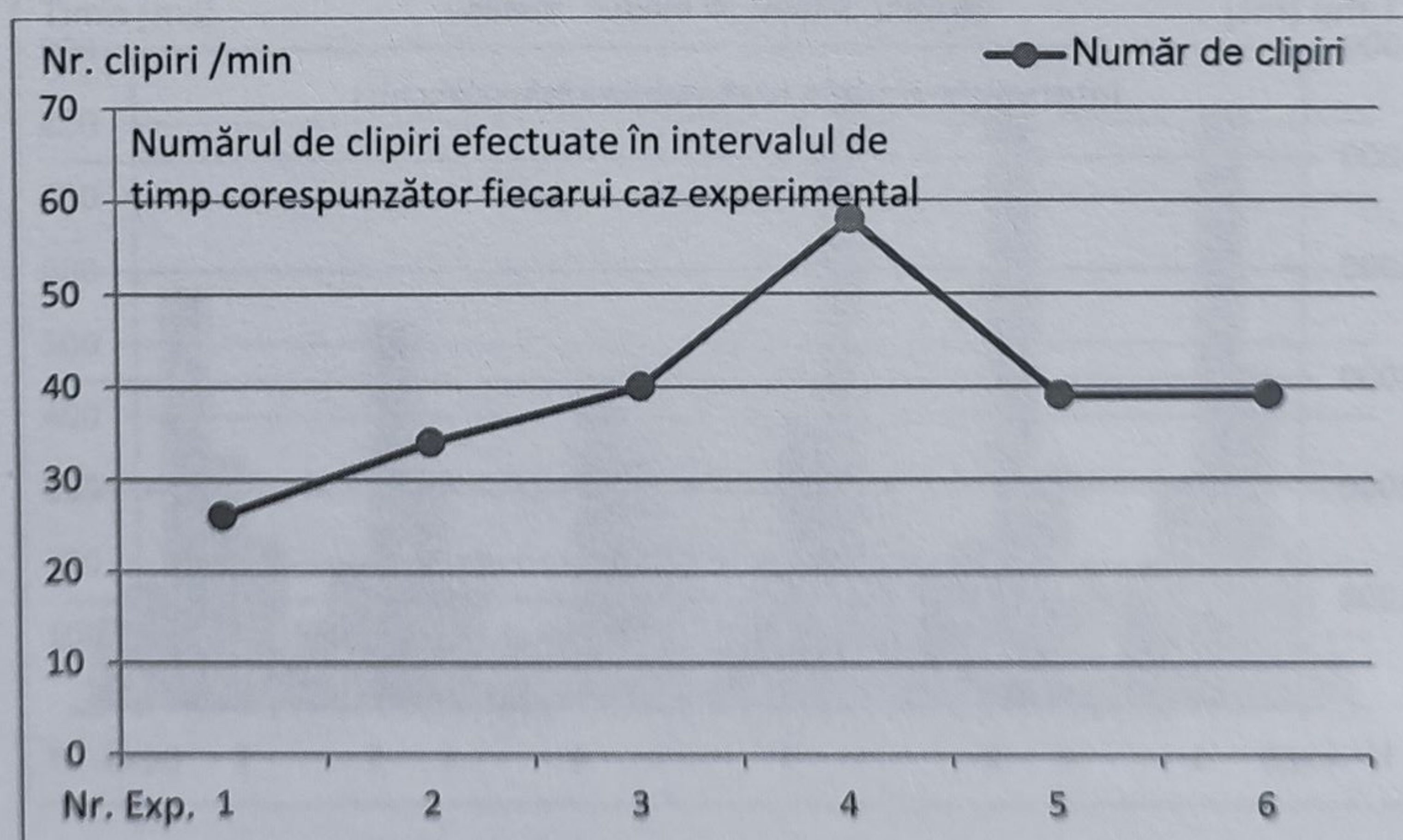


Figura 5.53 prezintă variația intervalului de timp corespunzător unei secvențe de clipit. Analizând această figură s-a observat prezența valorii minime de  $1096 \pm 700$  ms în cadrul cazului experimental 4. Acest fapt împreună cu numărul ridicat de clipiri aferent cazului 4, descrise de figura 5.54, pot indica faptul ca stimulul luminos provoacă subiectului un disconfort vizual, pe care subiectul încearcă să îl reducă prin clipirea excesivă și intervalul redus în care ochii rămân deschiși.



**Figura 5.53** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice subiectului numărul 8, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate

Figura 5.54 prezintă numărul de clipiri efectuate de subiectul numărul 8 în cele șase cazuri experimentale analizate. S-a observat că subiectul prezintă un număr ridicat de clipiri în cazul 4.



**Figura 5.54** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiectul numărul 8, în intervalul de timp alocat fiecărui caz experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale analizate



### 5.3. Analizarea mobilității pleoapelor corespunzătoare fiecărui studiu experimental

Analiza mobilității pleoapelor, specifice fiecărui studiu experimental, a fost realizată în scopul validării ipotezelor enunțate de autor pe parcursul analizei realizate pentru fiecare subiect monitorizat. De asemenea, s-a verificat dacă mobilitatea subiecților, descrisă de valorile parametrilor măsurați, este corelată pe parcursul unui anumit studiu experimental. Corelația ridicată a parametrilor de interes, cumulată cu analiza varianței, a condus la identificarea valorilor specifice ce caracterizează mobilitatea regiunilor oculare, pe parcursul unei anumite situații experimentale. Analiza varianței este utilizată pentru a valida omogenitatea valorilor ce descriu comportamentul în cadrul unui studiu experimental.

#### 5.3.1. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 1

Rezultatele măsurătorilor asupra parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 1, sunt sintetizate în Tabelul 5.1.

**Tabelul 5.1** Valorile medii ale parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor corespunzătoare subiecților în cadrul studiului experimental numărul 1

unitate de măsură[ms]		Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
timp de închidere	min	77.00	77.00	66.00	88.00	77.00	99.00	77.00	77.00
	max	220.00	176.00	132.00	176.00	231.00	176.00	242.00	165.00
	medi a	139.86	119.73	100.22	126.18	133.57	139.33	148.21	119.31
	stdev	33.46	27.51	20.05	25.90	42.98	25.14	38.17	25.65
timp de deschidere	min	132.00	88.00	176.00	154.00	165.00	143.00	231.00	121.00
	max	275.00	429.00	429.00	319.00	495.00	462.00	539.00	352.00
	medi a	201.67	213.23	260.33	233.59	251.43	261.25	320.74	235.65
	stdev	37.70	75.48	63.61	36.88	79.09	74.22	76.23	60.65
ochii închiși	min	209.00	176.00	253.00	275.00	286.00	275.00	308.00	198.00
	max	418.00	539.00	561.00	495.00	682.00	627.00	671.00	451.00
	medi a	341.52	332.96	360.56	359.76	385.00	400.58	468.95	354.96
	stdev	52.75	84.80	77.83	51.56	99.96	84.31	88.88	69.34
ochii deschiși	min	737.00	33.00	286.00	55.00	979.00	374.00	385.00	264.00
	max	3608.00	4851.00	4554.00	4224.00	12485.00	9427.00	5005.00	5412.00
	medi a	2400.62	1956.73	2844.72	3021.12	3242.64	4130.50	2582.68	2105.23
	stdev	629.99	1238.12	1437.27	922.09	2809.68	2220.63	1562.74	1321.59
durata unui clipit	min	1078.00	231.00	627.00	352.00	1265.00	770.00	869.00	594.00
	max	3971.00	5269.00	4906.00	4620.00	12771.00	9757.00	5676.00	5621.00
	medi a	2742.14	2289.69	3205.28	3380.88	3593.86	4531.08	3051.63	2460.19
	stdev	647.84	1291.88	1412.66	945.54	2824.61	2208.78	1586.95	1293.52
număr de clipiri pe minut		21.00	26.00	18.00	17.00	14.00	12.00	19.00	26.00



Tabelul 5.1 prezintă valorile minime, maxime, medii și deviația standard, corespunzătoare timpului de închidere, timpului de deschidere, timpului cât ochii rămân închiși, timpului cât ochii rămân deschiși, durata unui clipit și numărul de clipiri, specifice fiecărui subiect uman din cadrul studiului experimental numărul 1. În continuare, s-a realizat corelația dintre valorile specifice fiecărui subiect uman, pentru a determina omogenitatea mobilității subiecților în cadrul experimentului. Analizând coeficienții de corelație prezentați în tabelul 5.2, se poate observa un nivel ridicat de corelație dintre comportamentul subiecților în cadrul studiului experimental numărul 1. S-a realizat în continuare analiza varianței (ANOVA-Analysis of Variance), pentru a confirma omogenitatea grupului, în consecință comportamentul similar al subiecților pe parcursul stadiului experimental.

**Tabelul 5.2** Coeficienții de corelație dintre subiecți specifici studiului experimental numărul 1

	Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
Subiectul 1	1							
Subiectul 2	0.949312	1						
Subiectul 3	0.980468	0.979411	1					
Subiectul 4	0.981867	0.962544	0.992388	1				
Subiectul 5	0.920155	0.985041	0.942534	0.912853	1			
Subiectul 6	0.964781	0.997208	0.985867	0.970946	0.983575	1		
Subiectul 7	0.974426	0.991767	0.994115	0.978485	0.968844	0.994312	1	
Subiectul 8	0.958356	0.997729	0.979401	0.960773	0.989764	0.998787	0.99269	1

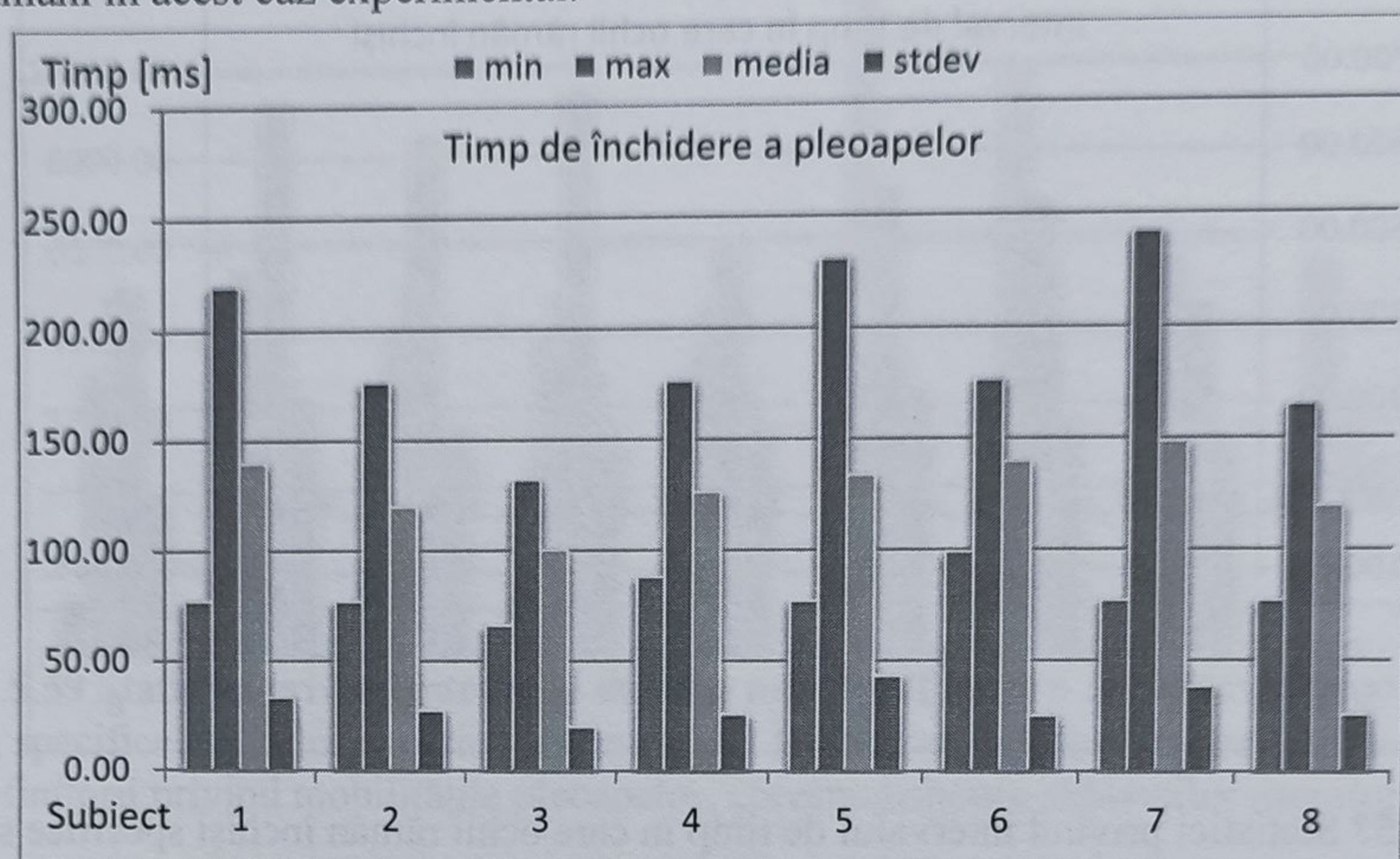
Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de încredere  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.3, s-a observat că valoarea parametrului F determinat pentru acest studiu,  $F=0,872$ , este mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,067$ , și că valoarea determinată a dispersiei corespunzătoare valorilor specifice acestui studiu,  $p=0,529$ , este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții ipoteza de nul, conform căreia nu există diferențe semnificative între subiecți, nu este respinsă.

**Tabelul 5.3** Analiza varianței corespunzătoare studiului experimental numărul 1

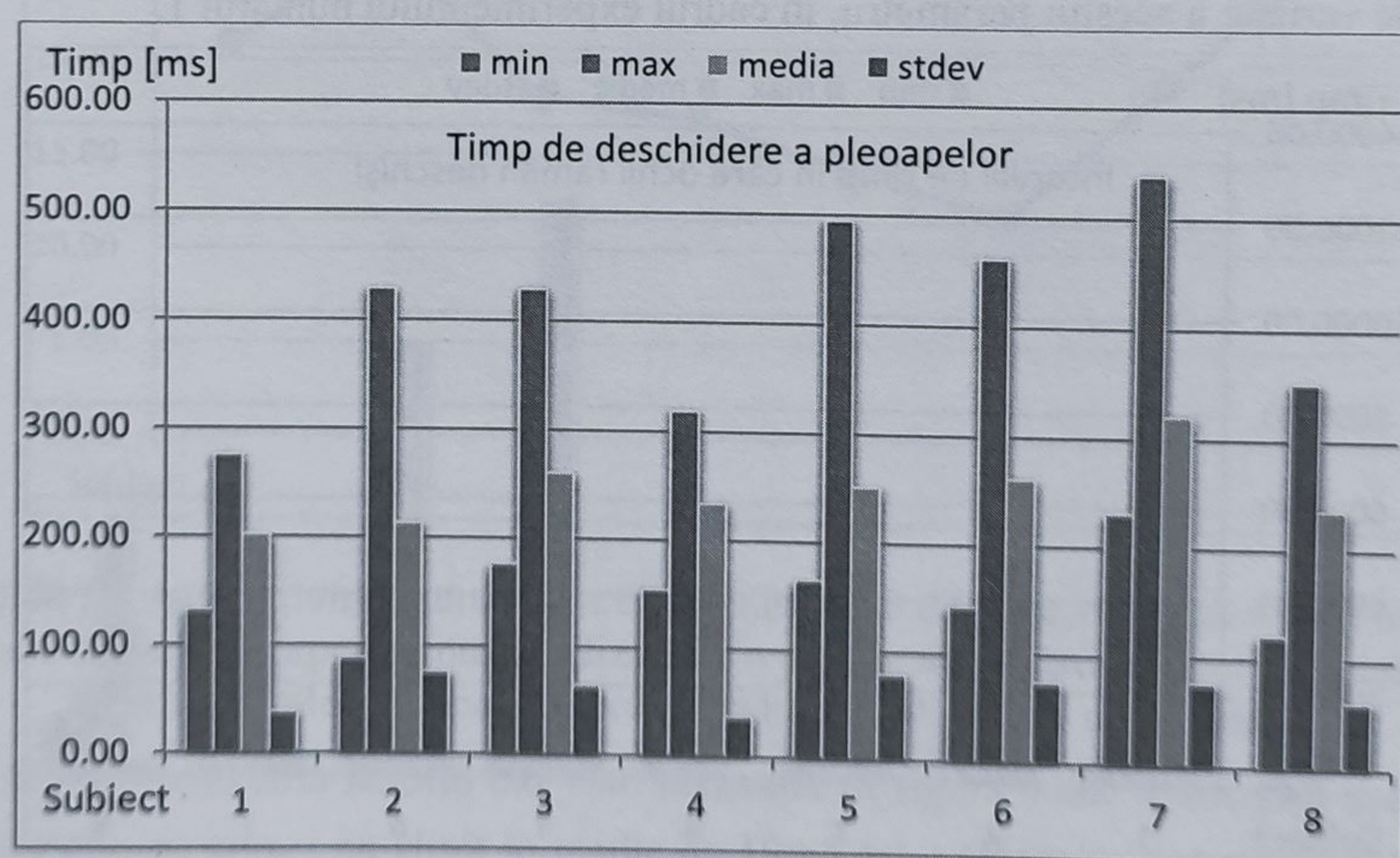
Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
Subiectul 1	21	17973.55	855.8835	1487791		
Subiectul 2	21	19525.13	929.7682	2310186		
Subiectul 3	21	21790.53	1037.644	2296682		
Subiectul 4	21	19878.5	946.5953	2174409		
Subiectul 5	21	42912.81	2043.467	13713535		
Subiectul 6	21	36197.81	1723.705	8540618		
Subiectul 7	21	23947.18	1140.342	2655973		
Subiectul 8	21	21327.09	1015.576	2708643		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	27388397	7	3912628	0.87219	0.529904	2.067237
În interiorul Grupului	7.18E+08	160	4485979			
Total	7.45E+08	167				



Conform indicatorilor statistici, comportamentul subiecților în cadrul acestui studiu experimental este omogen. S-a trecut în continuare la caracterizarea modului în care subiecții se comportă în cadrul acestui studiu experimental. În figura 5.55 sunt prezentate datele referitoare la timpii de închidere a pleoapelor, ce caracterizează mobilitatea în cadrul acestui studiu experimental. Analizând aceste date, se observă timpul mediu de închidere a pleoapelor de  $128 \pm 14$  ms, ceea ce caracterizează cu o încredere de 95% comportamentul timpului de închidere, prezentat de subiecții umani în acest caz experimental.



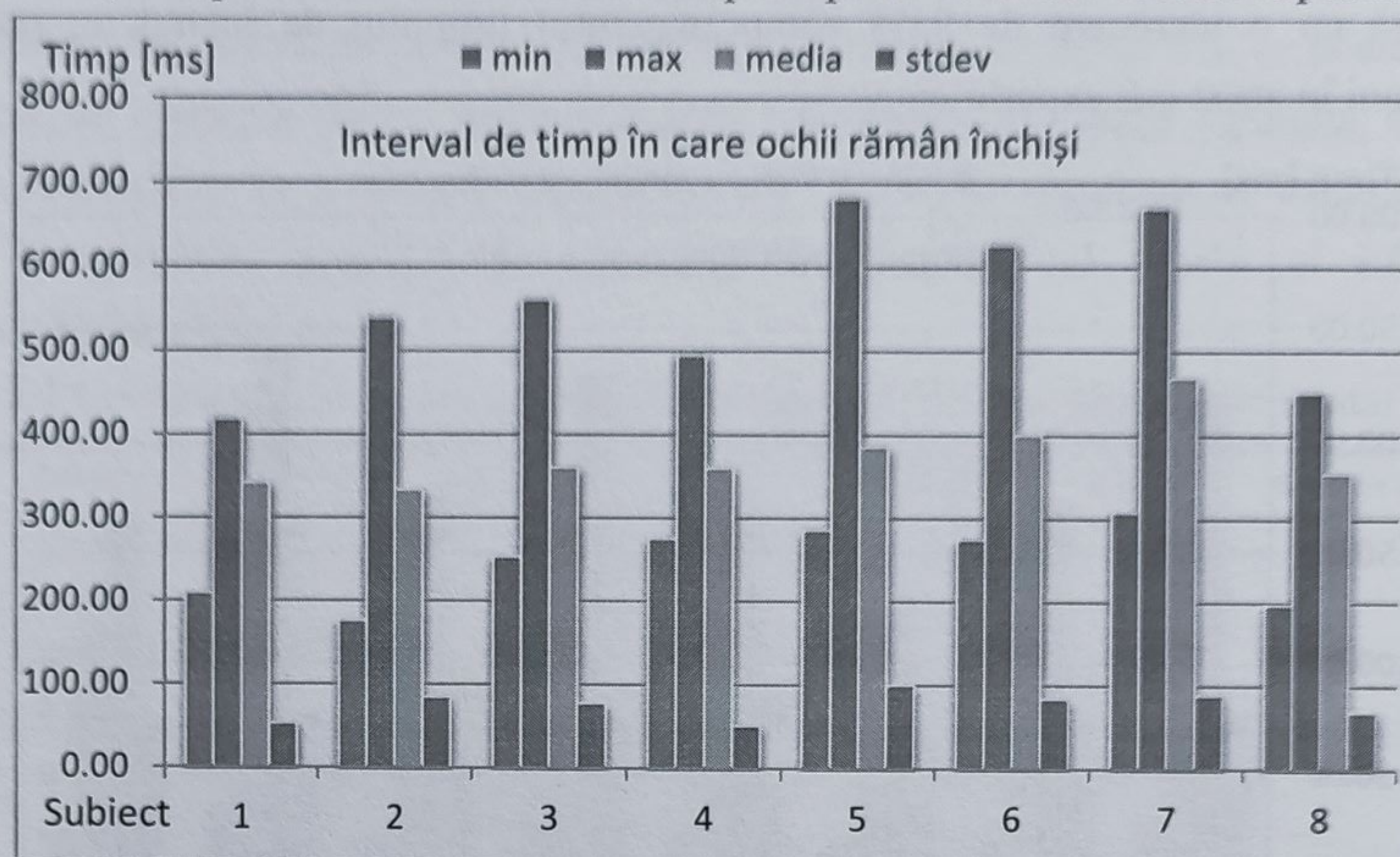
**Figura 5.55** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



**Figura 5.56** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

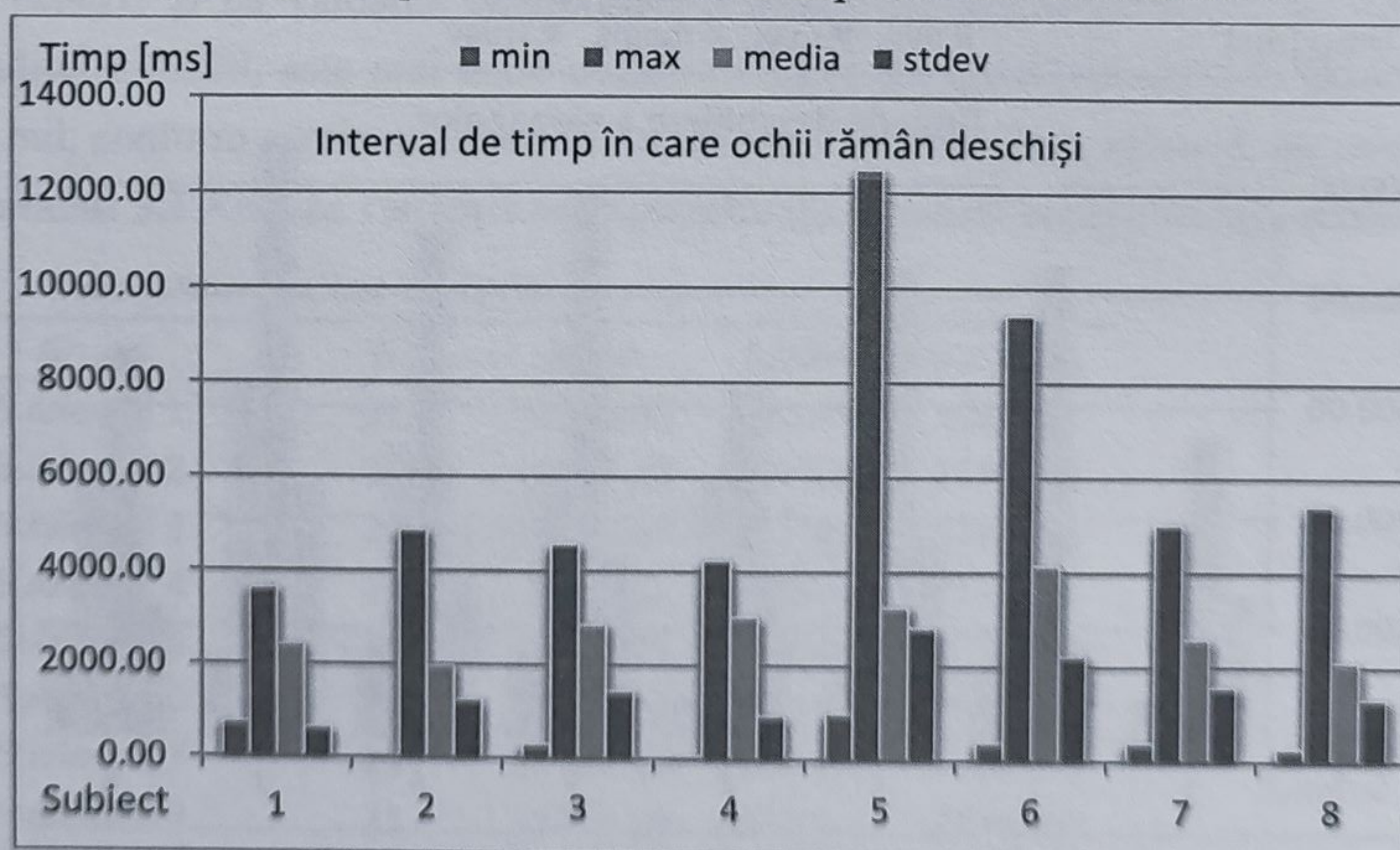


Timpul de deschidere a pleoapelor sunt prezentați în figura 5.56. Conform acesteia, timpul de deschidere a pleoapelor corespunzător acestui caz este de  $249 \pm 34$  ms, specificat cu o încredere de 95%, ce caracterizează mobilitatea subiecților pe parcursul acestui experiment. Timpul în care pleoapele acoperă în totalitate ochii, observat din figura 5.57, este de  $375 \pm 40$  ms, ce descrie cu o precizie de 95%, comportamentul de închidere a pleoapelor în cadrul acestui experiment.



**Figura 5.57** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închisi specifice studiului experimental numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definatorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

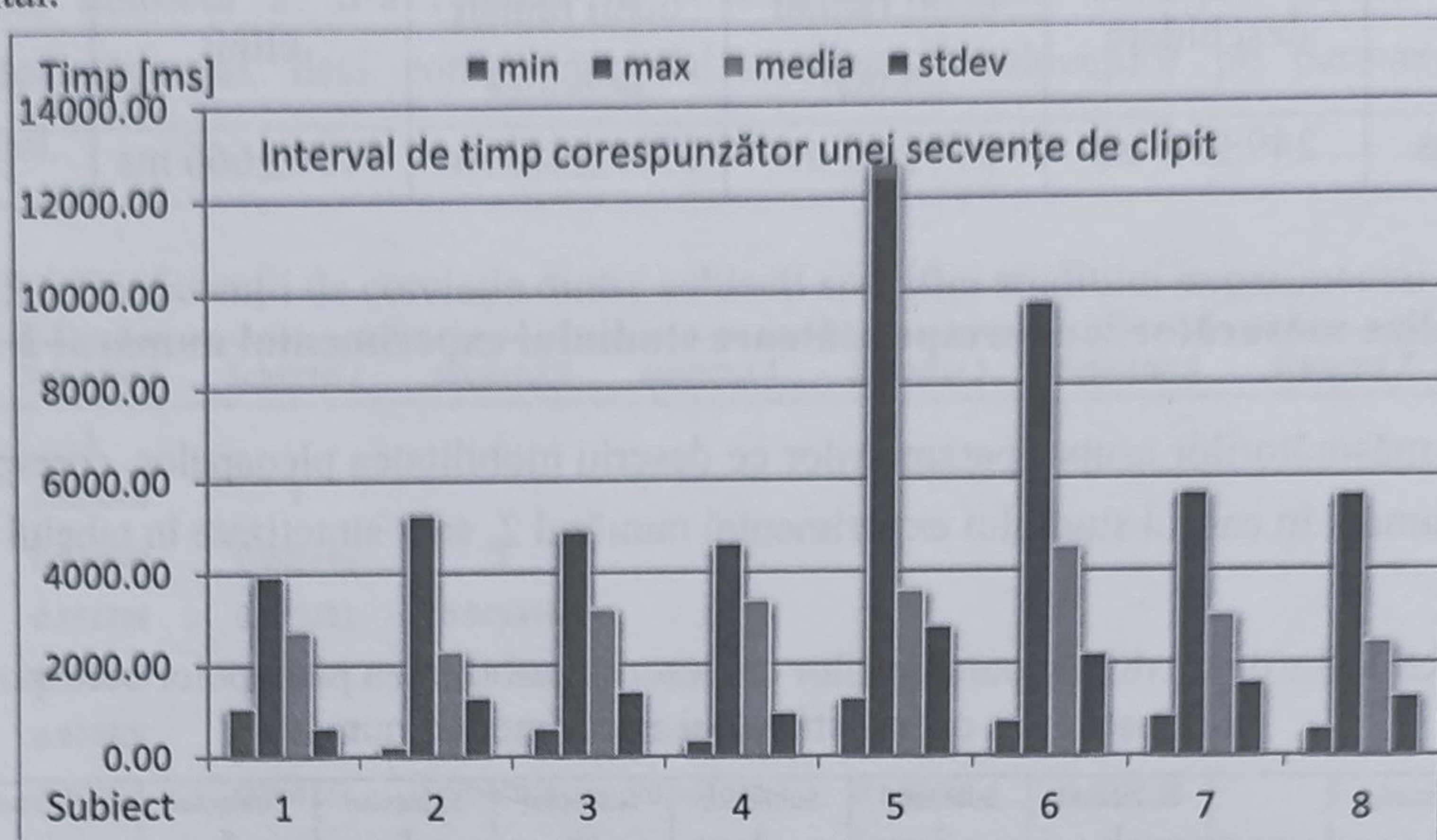
Analizând timpul de închidere a pleoapelor, conform datelor prezentate în figura 5.58, s-a observat un timp în care ochii rămân deschiși de  $2785 \pm 653$  ms, ce specifică cu o încredere de 95 % tendința de variație a acestui parametru, în cadrul experimentului numărul 1.



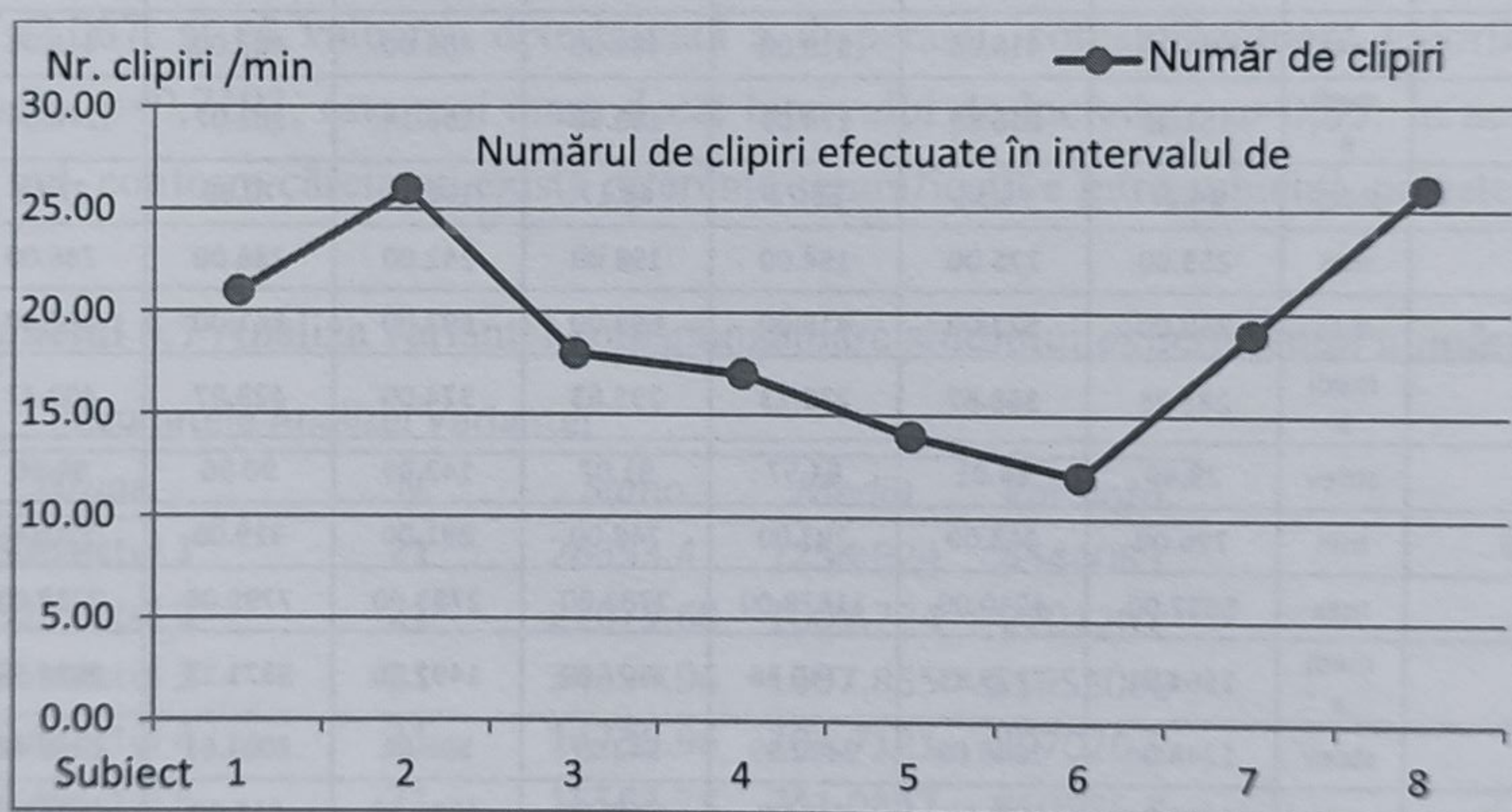
**Figura 5.58** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice studiului experimental numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definatorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



Studiind intervalul de timp corespunzător unei secvențe de clipit, conform datelor experimentale prezentate în figura 5.59, s-a observat că durata unui clipit a fost de  $3156 \pm 666$  ms, valoare ce caracterizează cu o încredere de 95 %, comportamentul acestui parametru în acest caz experimental.



**Figura 5.59** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice studiului experimental numărul 1, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



**Figura 5.60** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiecții umani în intervalul de timp alocat cazului experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

Numărul de clipiri specific acestui caz este prezentat în figura 5.60. Analizând aceste date s-a observa că subiecții umani au clipit în medie de  $19 \pm 5$  ori, valoare ce descrie cu o încredere de 95%, comportamentul subiecților în acest caz. Tabelul 5.4 prezintă o sinteză a parametrilor specifici acestui caz, descriși cu o încredere de 95%.



**Tabelul 5.4** Parametrii ce caracterizează clipitul subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 1

Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
128±14 ms	249±34 ms	375±40 ms	2785±653 ms	3156±666 ms	19±5 ori

**5.3.2. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 2**

Rezultatele măsurătorilor asupra parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 2, sunt sintetizate în tabelul 5.5.

**Tabelul 5.5** Valorile medii ale parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor corespunzătoare subiecților în cadrul studiului experimental numărul 2

unitatea de măsură [ms]		Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
timpul de închidere	min	88.00	99.00	55.00	55.00	77.00	88.00	77.00	88.00
	max	154.00	209.00	154.00	264.00	209.00	242.00	220.00	154.00
	medi a	117.86	141.78	98.04	112.06	117.86	140.80	125.53	118.41
	stdev	42.69	35.15	22.45	38.64	42.69	36.64	33.97	15.57
timpul de deschidere	min	154.00	132.00	88.00	110.00	154.00	165.00	165.00	143.00
	max	484.00	418.00	319.00	484.00	484.00	407.00	418.00	319.00
	medi a	151.25	246.89	174.09	183.56	256.14	283.07	276.94	216.44
	stdev	16.27	74.54	58.72	68.17	106.12	70.89	77.53	35.67
ochii închiși	min	253.00	275.00	154.00	198.00	242.00	286.00	286.00	242.00
	max	330.00	572.00	418.00	693.00	693.00	561.00	627.00	451.00
	medi a	283.25	388.67	272.13	295.63	374.00	423.87	402.47	334.85
	stdev	29.49	84.01	64.57	91.07	142.09	90.96	94.86	41.69
ochii deschiși	min	726.00	363.00	297.00	748.00	891.00	319.00	770.00	297.00
	max	5632.00	4510.00	11528.00	2783.00	2783.00	7799.00	9020.00	5632.00
	medi a	1564.91	2729.83	1749.48	1507.69	1492.86	3371.13	2884.59	1564.91
	stdev	1248.04	1046.69	2332.99	543.17	595.01	2001.61	2168.42	1248.04
durata unui clipit	min	1012.00	638.00	506.00	1023.00	1298.00	616.00	1056.00	561.00
	max	8217.00	4895.00	11737.00	3168.00	3168.00	8217.00	9317.00	5929.00
	medi a	3795.00	3118.50	2021.61	1803.31	1866.86	3795.00	3287.06	1899.76
	stdev	2042.66	1084.63	2321.89	534.65	563.16	2042.66	2176.44	1245.16
număr de clipiri pe minut		12.00	18.00	23.00	32.00	7.00	15.00	17.00	34.00

Tabelul 5.5 prezintă valorile minime, maxime, medii și deviația standard, corespunzătoare timpului de închidere, timpului de deschidere, timpului cât ochii rămân închiși, timpului cât ochii rămân deschiși, durata unui clipit și numărul de clipiri, specifice fiecărui subiect uman din cadrul studiului experimentul numărul 2. În continuare s-a realizat corelația dintre valorile specifice



fiecărui subiect uman, pentru a determina omogenitatea comportamentului dintre subiecți în cadrul experimentului. Analizând coeficienții de corelație prezentați în tabelul 5.6, se poate observa un nivel ridicat de corelație dintre comportamentul subiecților, în cadrul studiului experimental numărul 2. S-a realizat în continuare analiza varianței, pentru a confirma omogenitatea grupului, deci comportamentul similar al subiecților pe parcursul stadiului experimental.

**Tabelul 5.6** Coeficienții de corelație dintre subiecți specifici studiului experimental numărul 2

	Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
Subiectul 1	1							
Subiectul 2	0.954864	1						
Subiectul 3	0.944628	0.908446	1					
Subiectul 4	0.952226	0.975291	0.901956	1				
Subiectul 5	0.943196	0.96213	0.886336	0.997072	1			
Subiectul 6	0.970201	0.986059	0.962547	0.960256	0.944891	1		
Subiectul 7	0.97066	0.964346	0.984979	0.954993	0.942468	0.992933	1	
Subiectul 8	0.969788	0.95555	0.99079	0.946613	0.932715	0.988717	0.998424	1

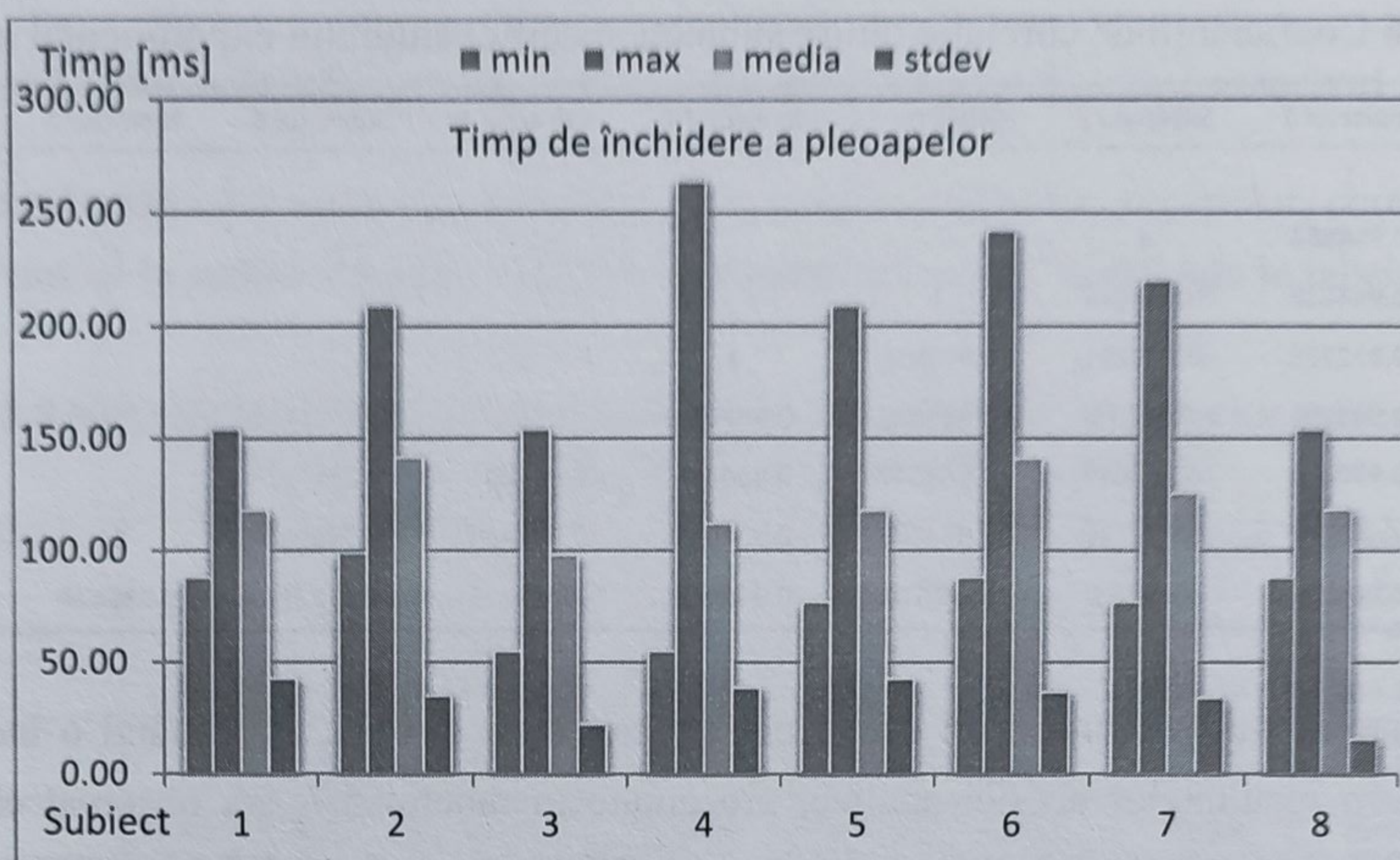
Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de încredere  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.7, s-a observat că valoarea parametrului F determinat pentru acest studiu,  $F=0,6434$ , este mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,067$ , și că valoarea determinată a dispersiei, corespunzătoare valorilor specifice acestui studiu,  $p=0,7193$ , este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții ipoteza de nul, conform căreia nu există diferențe semnificative între subiecți, nu este respinsă.

**Tabelul 5.7** Analiza varianței corespunzătoare studiului experimental numărul 2

Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
Subiectul 1	21	26353.41	1254.924	4544083		
Subiectul 2	21	21079.68	1003.794	2201201		
Subiectul 3	21	34394.96	1637.855	11655056		
Subiectul 4	21	14735.96	701.7121	807026.5		
Subiectul 5	21	15562.78	741.0847	810535.8		
Subiectul 6	21	30971.62	1474.839	5902109		
Subiectul 7	21	33500.79	1595.276	7299926		
Subiectul 8	21	20570.51	979.5481	2844236		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	20305740	7	2900820	0.64348	0.719387	2.067237
În interiorul Grupului	7.21E+08	160	4508022			
Total	7.42E+08	167				

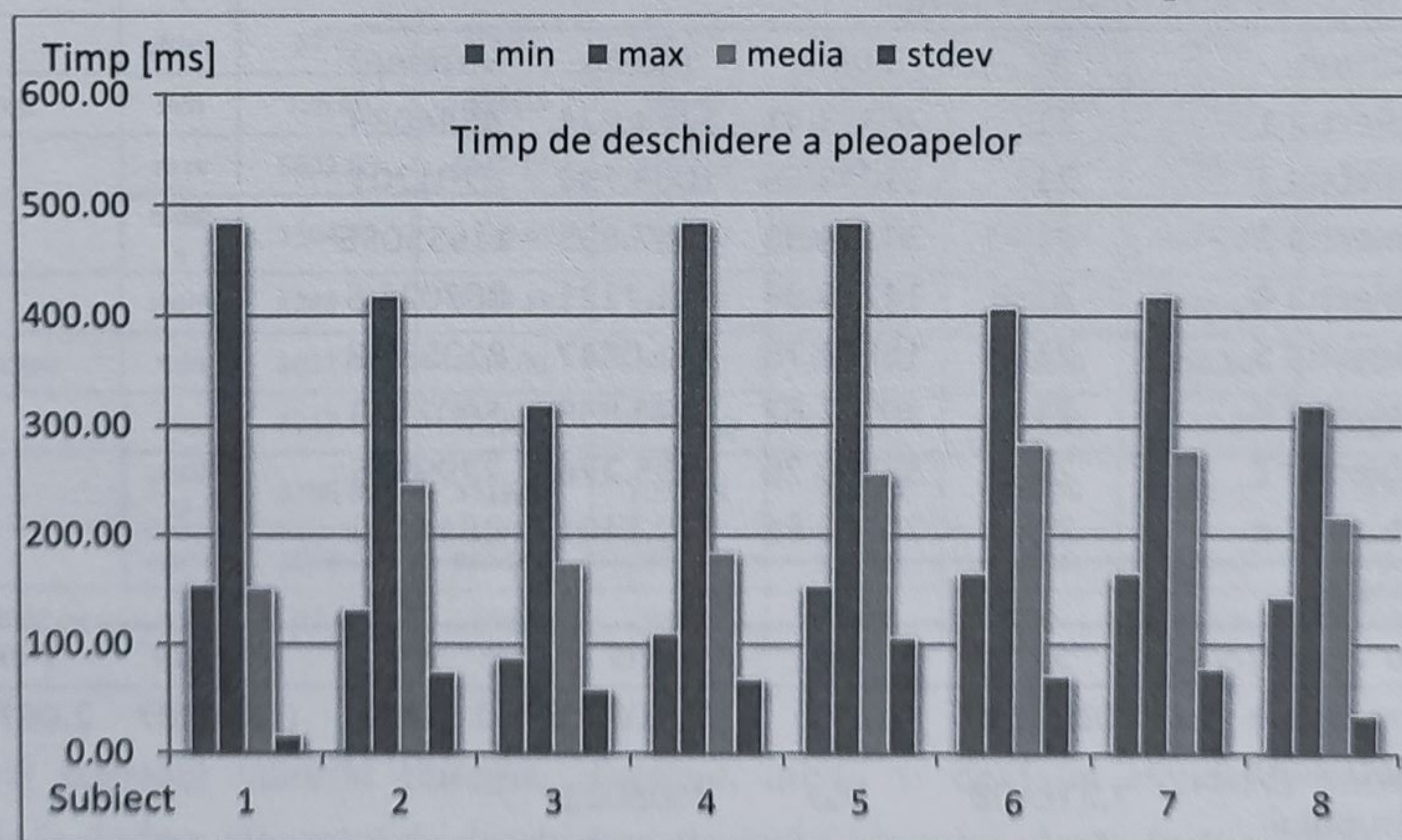


Conform indicatorilor statistici, comportamentul subiecților în cadrul acestui studiu experimental este omogen. S-a trecut în continuare la caracterizarea modului în care subiecții se comportă în cadrul acestui studiu experimental. În figura 5.61 sunt prezentate datele referitoare la timpii de închidere a pleoapelor, ce caracterizează mobilitatea în cadrul acestui studiu experimental. Analizând aceste date se observă timpul mediu de închidere a pleoapelor de  $121 \pm 13$  ms, ceea ce caracterizează cu o încredere de 95% comportamentul timpului de închidere, pentru subiecții umani în acest caz.



**Figura 5.61** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

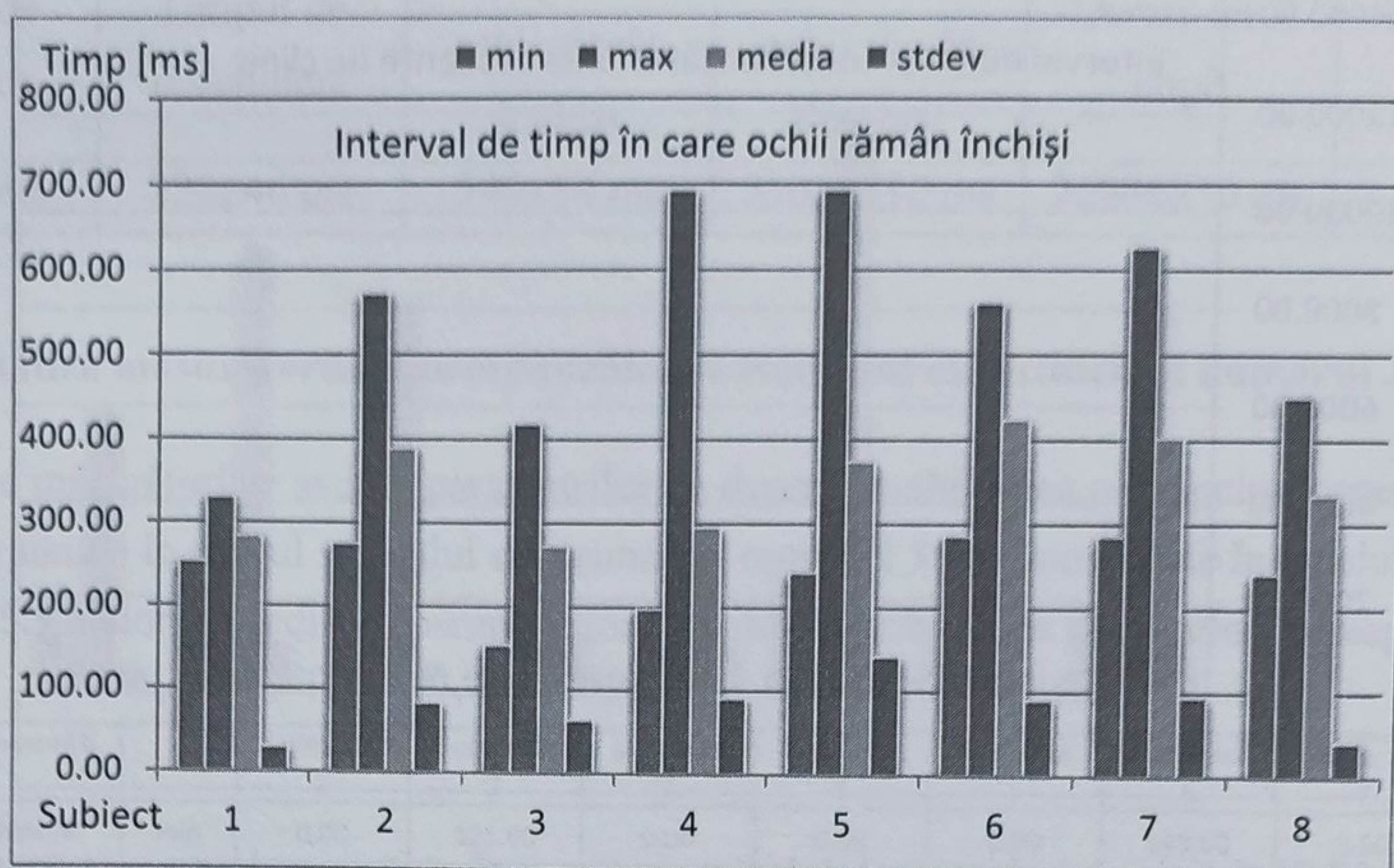
Timpii de deschidere a pleoapelor sunt prezentați în figura 5.62. Conform acestora timpul de deschidere a pleoapelor corespunzător acestui caz este de  $223 \pm 46$  ms, specificat cu o încredere de 95%, ce caracterizează mobilitatea subiecților pe parcursul acestui experiment.



**Figura 5.62** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

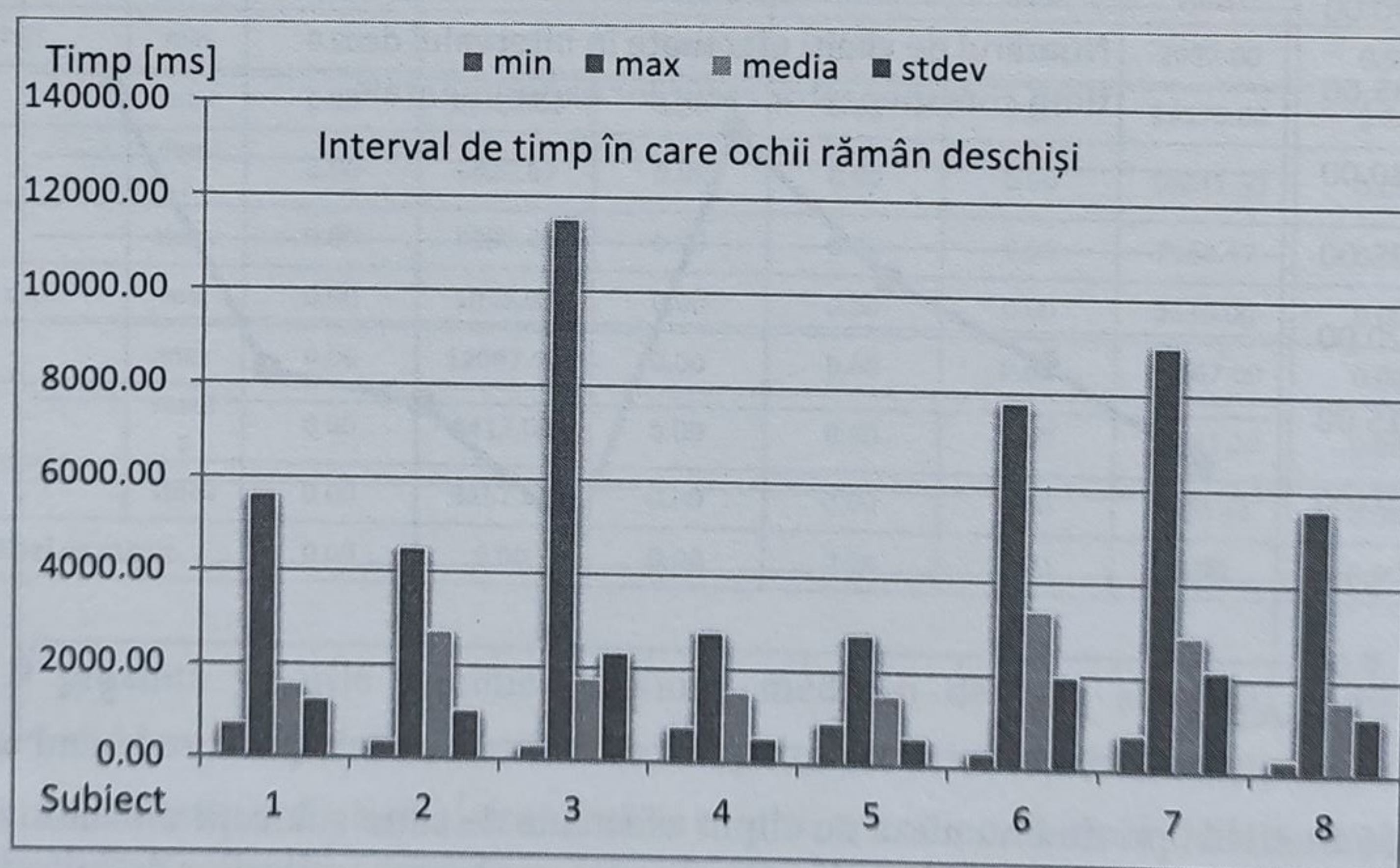


Timpul în care pleoapele acoperă în totalitate ochii, observat din figura 5.63, este de  $346 \pm 54$  ms, ce descrie cu o precizie de 95%, comportamentul de închidere a pleoapelor în cadrul acestui caz experimental.



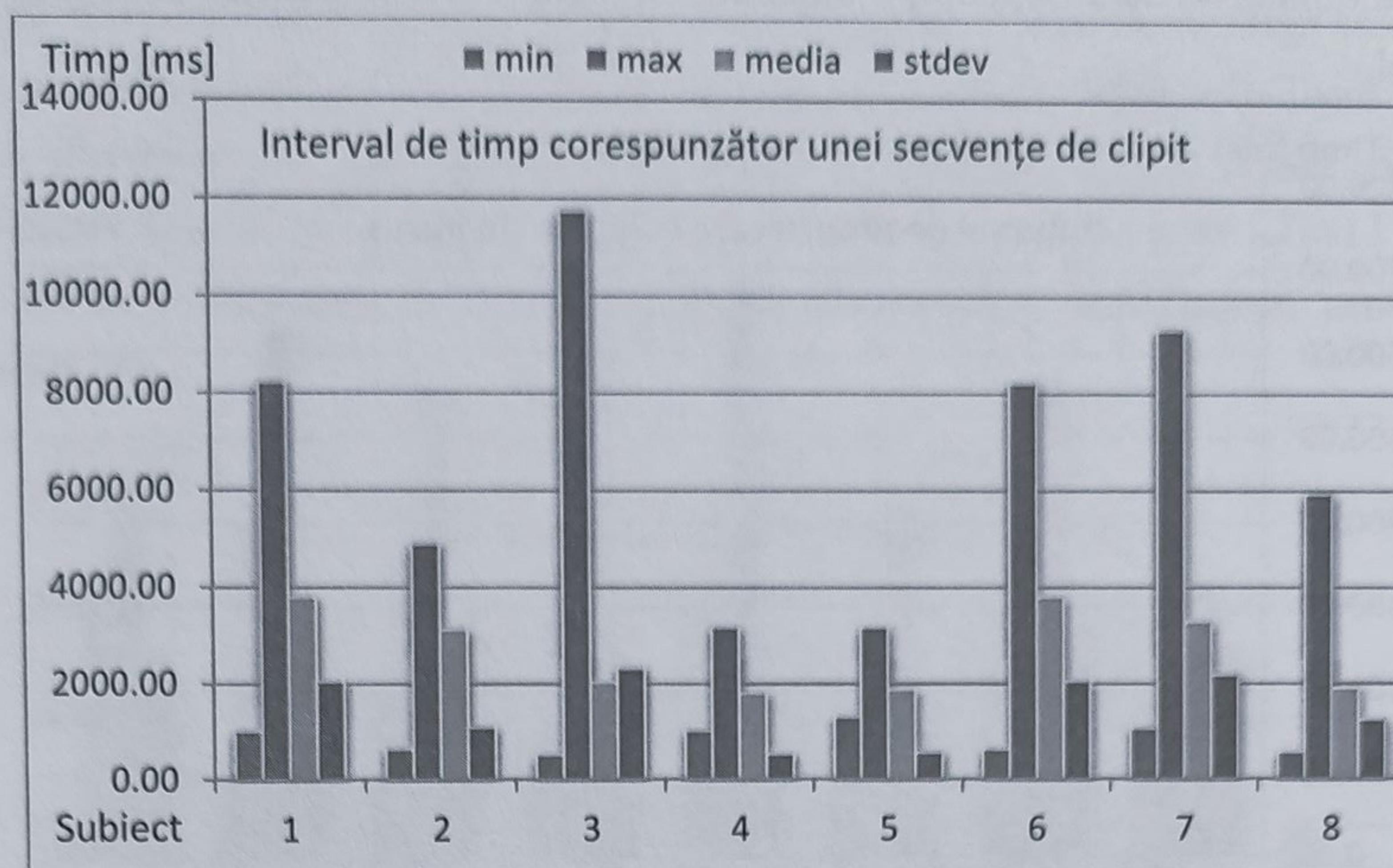
**Figura 5.63** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice studiului experimental numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

Analizând timpul de deschidere a pleoapelor, conform datelor prezentate în figura 5.64, s-a observat un timp în care ochii rămân deschiși de  $2108 \pm 710$  ms, ce specifică cu o încredere de 95 % tendința de variație a acestui parametru în cadrul experimentului numărul 2. Studiind intervalul de timp corespunzător unei secvențe de clipit, conform datelor experimentale prezentate în figura 5.65, s-a observat că durata unui clipit a fost de  $2698 \pm 830$  ms, valoare ce caracterizează cu o încredere de 95 % comportamentul acestui parametru în acest caz experimental.



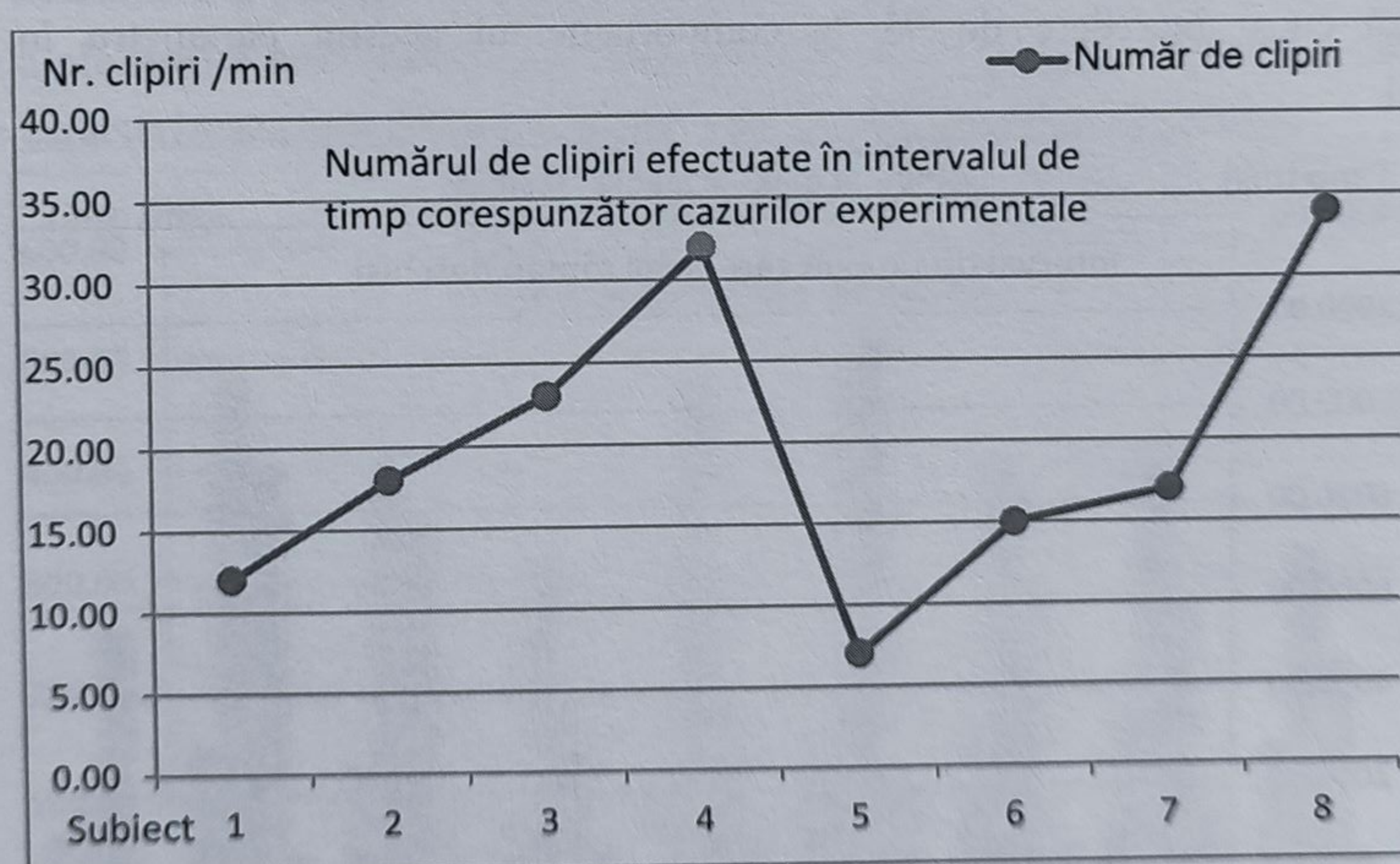
**Figura 5.64** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice studiului experimental numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați





**Figura 5.65** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice studiului experimental numărul 2, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

Numărul de clipiri specific acestui caz este prezentat în figura 5.66. Analizând aceste date, s-a observat că subiecții umani au clipit în medie de  $19 \pm 8$  ori, valoare ce descrie cu o încredere de 95%, comportamentul subiecților în acest caz. Tabelul 5.8 prezintă o sinteză a parametrilor specifici acestui caz, descriși cu o încredere de 95%.



**Figura 5.66** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiecții umani în intervalul de timp alocat cazului experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii, privind mobilitățile pleoapelor corespunzătoare subiecților monitorizați



**Tabelul 5.8** Parametrii ce caracterizează clipitul subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul

Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
121±13 ms	223±46 ms	346±54 ms	2108±710 ms	2698±830 ms	19±8 ori

### 5.3.3. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 3

Rezultatele măsurătorilor asupra parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 3 sunt sintetizate în tabelul 5.9.

**Tabelul 5.9** Valorile medii ale parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților în cadrul studiului experimental numărul 3

unitatea de măsură [ms]		Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
timpul de închidere	min	0.00	121.00	0.00	0.00	0.00	143.00	0.00	66.00
	max	0.00	209.00	0.00	0.00	0.00	275.00	0.00	396.00
	medi a	0.00	163.78	0.00	0.00	0.00	200.20	0.00	134.48
	stdev	0.00	27.17	0.00	0.00	0.00	49.88	0.00	52.84
timpul de deschidere	min	0.00	154.00	0.00	0.00	0.00	418.00	0.00	165.00
	max	0.00	297.00	0.00	0.00	0.00	605.00	0.00	352.00
	medi a	0.00	228.56	0.00	0.00	0.00	499.40	0.00	226.33
	stdev	0.00	55.55	0.00	0.00	0.00	75.76	0.00	44.74
ochii închiși	min	0.00	275.00	0.00	0.00	0.00	594.00	0.00	110.00
	max	0.00	495.00	0.00	0.00	0.00	880.00	0.00	484.00
	medi a	0.00	392.33	0.00	0.00	0.00	699.60	0.00	341.00
	stdev	0.00	75.32	0.00	0.00	0.00	98.53	0.00	65.36
ochii deschiși	min	0.00	759.00	0.00	0.00	0.00	2992.00	0.00	55.00
	max	0.00	11682.00	0.00	0.00	0.00	23573.00	0.00	2673.00
	medi a	0.00	6020.67	0.00	0.00	0.00	10841.60	0.00	1224.58
	stdev	0.00	3138.46	0.00	0.00	0.00	7164.17	0.00	579.24
durata unui clipit	min	0.00	1056.00	0.00	0.00	0.00	3630.00	0.00	341.00
	max	0.00	12067.00	0.00	0.00	0.00	24167.00	0.00	3135.00
	medi a	0.00	6413.00	0.00	0.00	0.00	11541.20	0.00	1565.58
	stdev	0.00	3167.65	0.00	0.00	0.00	7150.44	0.00	598.26
număr de clipiri pe minut		0.00	9.00	0.00	0.00	0.00	5.00	0.00	40.00

Tabelul 5.9 prezintă valorile minime, maxime, medii și deviația standard, corespunzătoare timpului de închidere, timpului de deschidere, timpului cât ochii rămân închiși, timpului cât ochii rămân deschiși, durata unui clipit și numărul de clipiri, specifice fiecărui subiect uman din cadrul studiului experimental numărul 3. În continuare s-a realizat corelația dintre valorile specifice fiecărui subiect uman, pentru a determina omogenitatea comportamentului dintre subiecți în cadrul experimentului. Analizând coeficienții de corelație prezentați în tabelul 5.10, se poate



observa un nivel ridicat de neomogenitate în comportamentul subiecților, în cadrul studiului experimental numărul 3. S-a realizat în continuare analiza varianței, pentru a studia omogenitatea grupului.

**Tabelul 5.10** Coeficienții de corelație dintre subiecți, specifici studiului experimental numărul 3

	Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
Subiectul 1	1							
Subiectul 2	-	1						
Subiectul 3	-	-	1					
Subiectul 4	-	-	-	1				
Subiectul 5	-	-	-	-	1			
Subiectul 6	-	0.99599	-	-	-	1		
Subiectul 7	-	-	-	-	-	-	1	
Subiectul 8	-	0.982289	-	-	-	0.974546	-	1

Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de încredere  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.11, s-a observat că valoarea parametrului F determinat pentru acest studiu,  $F=7,1174$ , este mai mare decât valoarea critică a acestuia  $F=2,1713$ , și că valoarea determinată a dispersiei, corespunzătoare valorilor specifice acestui studiu,  $p=0,000015$ , este mai mică decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții ipoteza de nul, conform căreia nu există diferențe semnificative între subiecții este respinsă. În consecință, există diferențe semnificative între grupe, ce se traduc prin comportamentul diferit al subiecților în cadrul acestui studiu experimental.

**Tabelul 5.11** Analiza varianței corespunzătoare studiului experimental numărul 3

Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
0	19	0	0	0		
121	19	46676.48	2456.657	14837910		
0	19	0	0	0		
0	19	0	0	0		
0	19	0	0	0		
143	19	95454.79	5023.936	57668590		
0	19	0	0	0		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	4.42E+08	6	73722902	7.117435	1.51E-06	2.171309
În interiorul Grupului	1.31E+09	126	10358071			
Total	1.75E+09	132				
Total	1.78E+09	167				

Conform indicatorilor statistici, comportamentul subiecților în cadrul acestui studiu experimental nu este omogen. S-a trecut în continuare la identificarea grupului ce prezintă cele mai mari



influențe asupra acestui caz. Pentru aceasta s-a realizat analiza celor trei subiecții 2,6 și 8, utilizând testul Fisher de examinare a coeficientului de corelație. Testul a fost aplicat asupra asocierilor dintre doi subiecți, pentru determinarea subiectului cu comportamentul ce influențează cel mai mult acest caz. Rezultatele testului sunt prezentate în tabelul 5.12. Analizând datele din acest tabel, s-a observat că subiecții 6,8 au cel mai mic grad de corelație 0,9745, confirmat și de valoarea coeficientului  $F = 72,77$ , ca fiind cea mai mare dintre valorile determinate pentru asocierile de subiecți. Valoarea calculată  $F = 72,77$ , fiind mult mai mare decât valoarea critică  $F = 2,1241$ , confirmă corelația celor două grupe este semnificativă. S-a trecut mai departe la determinarea subiectului cu influența cea mai semnificativă asupra cazului.

**Tabelul 5.12** Analiza coeficientului de corelație utilizând testul Fisher

	Subiectul 2	Subiectul 6	Subiectul 2	Subiectul 8	Subiectul 6	Subiectul 8
Media	2228.88	4552.514	2228.88	602.3517	4552.514	602.3517
Varianța	13871959	54119043	13871959	743601.6	54119043	743601.6
Observații	21	21	21	21	21	21
df	20	20	20	20	20	20
F	0.256323		18.65509		72.77962	
P(F<=f)	0.001853		7.02E-09		1.73E-14	
F Critic	0.470775		2.124155		2.124155	

Determinarea subiectului cu influența cea mai mare asupra cazului, s-a realizat utilizând testul t. Aplicarea testului t a presupus considerarea varianțelor celor două grupe, subiectul 6, respectiv subiectul 8 ca fiind inegale. Rezultatele acestui test sunt prezentate în tabelul 5.13. Conform acestor date, s-a observat că dispersia corespunzătoare subiectului 6,  $p = 0,02344$ , este mai mare decât dispersia subiectului 8,  $p = 0,01172$ .

Conform valorii  $t = 2,079$  corespunzătoare subiectului 8, mai mare decât valoare de referință  $t = 2,443$ , se poate concluziona că subiectul 8 are influența cea mai semnificativă asupra acestui caz experimental. S-a dovedit statistic ca subiectul 8 are cea mai mare influență negativă asupra comportamentului general în acest caz experimental.

**Tabelul 5.13** Analiza celui mai influent factor, utilizând testul t

	Subiectul 6	Subiectul 8
Media	4552.514	602.3517
Varianța	54119043	743601.6
Observații	21	21
Diferență Medie Ipotetică	0	
df	21	
t Stat	2.443916	
P(T<=t) Subiectul 6	0.011722	
t Critic Subiectul 6	1.720743	
P(T<=t) Subiectul 8	0.023443	
t Critic Subiectul 8	2.079614	



Analizând valorile din tabelul 5.10, s-a observat că asocierea subiecților 2 și 6 prezintă cel mai mare coeficient de corelație 0,9959. Valoarea coeficientului de corelație, împreună cu coeficientul de corelație Fisher  $F=0,2563$ , mai mic decât valoarea critică  $F=0,470$ , corespunzătoare acestei asocieri, prezentată în tabelul 5.12, confirmă faptul că între cei doi subiecți nu sunt diferențe semnificative.

În consecință, aparțin aceleiași populații. Analizând caracteristicile ce descriu mobilitatea pleoapelor specifice acestor doi subiecți umani s-au observat următoarele similarități:

- Subiectul 2 prezintă în acest caz 3, numărul cel mai mic de clipiri 9, în comparație cu media generală a mobilității prezentate pe parcursul celor 6 cazuri experimentale, ce a avut valoarea de 22 de clipiri;
- Subiectul 2 a prezentat cel mai ridicat interval de timp în care ochii rămân deschiși 6020 ms, pentru cazul 3, tabelul 5.12 în comparație cu media generală de 2000 ms;
- Subiectul 6 prezintă corespunzător cazului 3 cel mai mic număr de clipiri 5, comparativ cu media generală de 11 clipiri;
- Subiectul 6 prezintă corespunzător cazului 3, un timp maxim în care ochii rămân deschiși de 10841 ms, în comparație cu media generală de 2600 ms.

Ținând cont de aceste similarități întâlnite între cei doi subiecți, dovedite și statistic prin analiză, utilizând testul  $t$  și luând în considerație faptul că, cinci din cei opt subiecți nu au clipit pe parcursul acestui caz experimental, autorul susține afirmația că lipsa sau numărul redus de clipiri poate indica un nivel ridicat de concentrare a atenției vizuale.

#### 5.3.4. Analiza măsurătorilor corespunzătoare studiului experimental numărul 4

Rezultatele măsurătorilor asupra parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 4 sunt sintetizată în tabelul 5.14.

Tabelul 5.14 prezintă valorile minime, maxime, medii și deviația standard, corespunzătoare timpului de închidere, timpului de deschidere, timpului cât ochii rămân închiși, timpului cât ochii rămân deschiși, durata unui clipit și numărul de clipiri, specifice fiecărui subiect uman din cadrul studiului experimental numărul 4. În continuare s-a realizat corelația dintre valorile specifice fiecărui subiect uman, pentru a determina omogenitatea comportamentului dintre subiecți în cadrul experimentului.

Analizând coeficienții de corelație prezentați în tabelul 5.15, se poate observa un nivel ridicat de corelație dintre comportamentul subiecților, în cadrul studiului experimental numărul patru. S-a realizat în continuare analiza varianței, pentru a confirma omogenitatea grupului, deci comportamentul similar al subiecților pe parcursul studiului experimental. Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de încredere  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.16, s-a observat că valoarea parametrului  $F$  determinat pentru acest studiu,  $F=1,1392$ , este mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,067$ , și că valoarea determinată a dispersiei, corespunzătoare valorilor specifice acestui studiu,  $p=0,341$ , este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ .



**Tabelul 5.14** Valorile medii ale parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților în cadrul studiului experimental numărul 4

unitatea de măsură [ms]		Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
timpul de închidere	min	77.00	88.00	88.00	99.00	77.00	88.00	77.00	55.00
	max	297.00	198.00	154.00	154.00	231.00	231.00	297.00	264.00
	media	127.05	133.43	110.00	125.89	139.33	149.00	127.05	118.91
	stdev	45.02	27.77	18.81	17.28	46.38	38.21	45.02	34.02
timpul de deschidere	min	176.00	209.00	209.00	132.00	176.00	77.00	176.00	88.00
	max	363.00	407.00	374.00	275.00	682.00	396.00	363.00	847.00
	media	255.20	293.65	295.31	197.39	305.56	257.00	255.20	202.55
	stdev	37.12	54.90	58.50	37.12	178.86	86.39	62.67	113.23
ochii închiși	min	242.00	330.00	330.00	242.00	264.00	198.00	286.00	154.00
	max	407.00	605.00	495.00	407.00	847.00	627.00	649.00	1111.00
	media	323.28	427.09	405.31	323.28	444.89	406.00	382.25	321.47
	stdev	45.82	65.89	57.05	45.82	212.61	106.39	92.22	133.17
ochii deschiși	min	308.00	220.00	561.00	308.00	1012.00	2794.00	264.00	22.00
	max	6193.00	4961.00	10329.00	6193.00	14729.00	7304.00	7557.00	3069.00
	media	3013.39	2146.91	3921.08	3013.39	4769.11	4880.00	2466.75	774.55
	stdev	1484.25	854.79	2936.79	1484.25	3788.95	1649.86	2054.19	662.49
durata unui clipit	min	671.00	583.00	1001.00	671.00	1859.00	3157.00	737.00	209.00
	max	6534.00	5302.00	10813.00	6534.00	15037.00	7744.00	7942.00	3388.00
	media	5286.00	2574.00	4326.38	3336.67	5214.00	5286.00	2849.00	1096.02
	stdev	1707.02	845.97	2954.59	1470.07	3687.75	1707.02	2081.62	704.61
număr de clipiri pe minut		11.00	23.00	13.00	18.00	9.00	11.00	20.00	18.00

**Tabelul 5.15** Coeficienții de corelație dintre subiecți, specifici studiului experimental numărul 4

	Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
Subiectul 1	1							
Subiectul 2	0.972914	1						
Subiectul 3	0.959993	0.987065	1					
Subiectul 4	0.980577	0.995013	0.992945	1				
Subiectul 5	0.94587	0.984293	0.997611	0.986454	1			
Subiectul 6	0.945918	0.938679	0.926635	0.948713	0.921551	1		
Subiectul 7	0.949057	0.985598	0.99808	0.98716	0.998539	0.910746	1	
Subiectul 8	0.896259	0.956035	0.949214	0.937943	0.956483	0.839127	0.962593	1

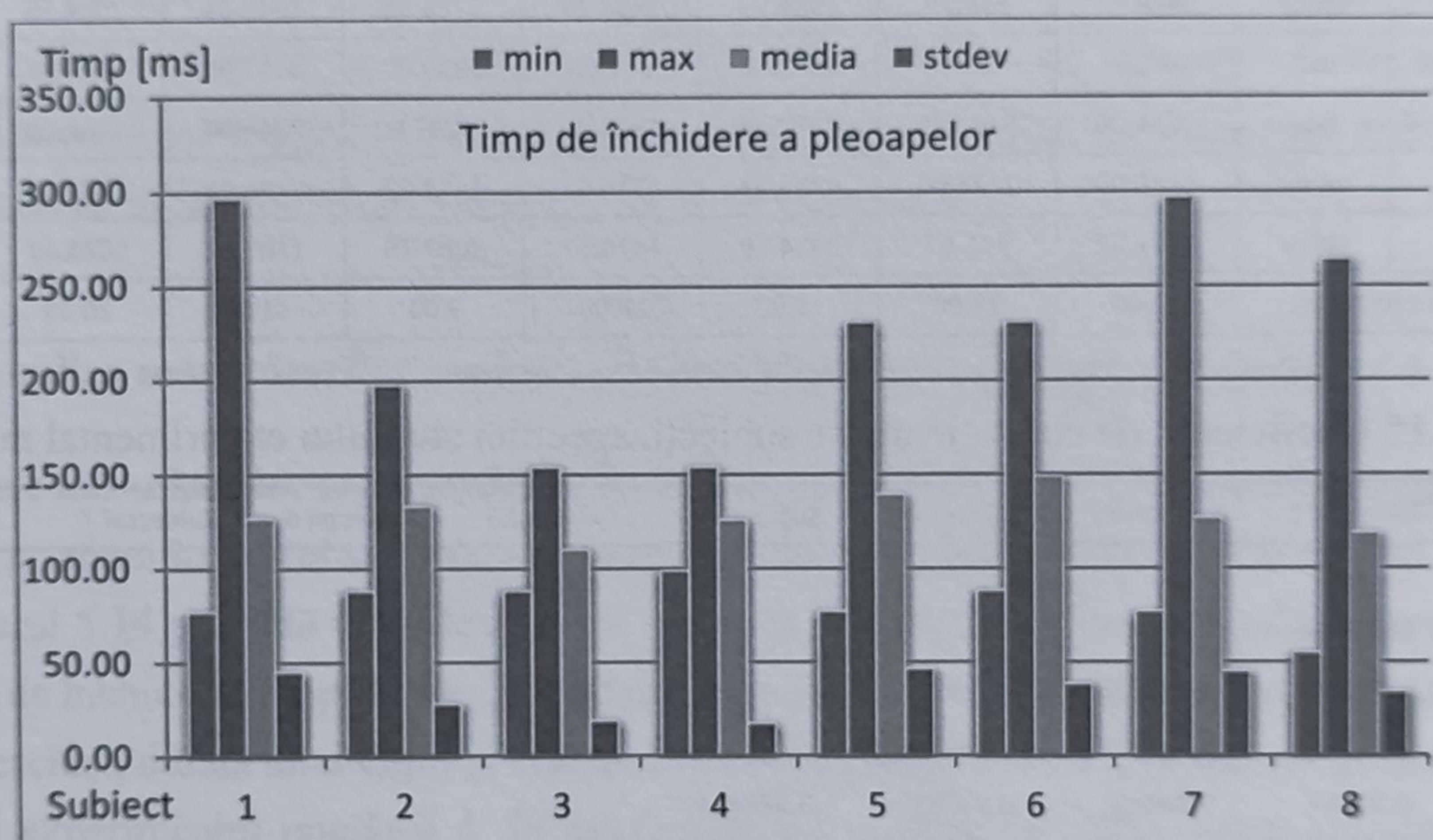
În aceste condiții ipoteza de nul, conform căreia nu există diferențe semnificative între subiecți, nu este respinsă. Conform indicatorilor statistici, comportamentul subiecților în cadrul acestui studiu experimental este omogen. S-a trecut în continuare la caracterizarea modului în care subiecții se comportă în cadrul acestui studiu experimental.

În figura 5.67 sunt prezentate datele referitoare la timpii de închidere a pleoapelor, ce caracterizează mobilitatea în cadrul acestui studiu experimental. Analizând aceste date se observă timpul mediu de închidere a pleoapelor de  $128 \pm 11$  ms, ceea ce caracterizează cu o încredere de 95% comportamentul timpului de închidere, pentru subiecții umani în acest caz.



**Tabelul 5.16** Analiza varianței corespunzătoare studiului experimental numărul 4

Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
Subiectul 1	21	27603.14	1314.435	4406035		
Subiectul 2	21	20350.4	969.0667	2354872		
Subiectul 3	21	39450.81	1878.61	10154986		
Subiectul 4	21	25084.15	1194.483	3836054		
Subiectul 5	21	53710.44	2557.64	19489067		
Subiectul 6	21	37192.88	1771.089	6177047		
Subiectul 7	21	28783.97	1370.665	5254996		
Subiectul 8	21	13386.03	637.4298	869591.4		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	52376270	7	7482324	1.139238	0.341239	2.067237
În interiorul Grupului	1.05E+09	160	6567831			
Total	1.1E+09	167				

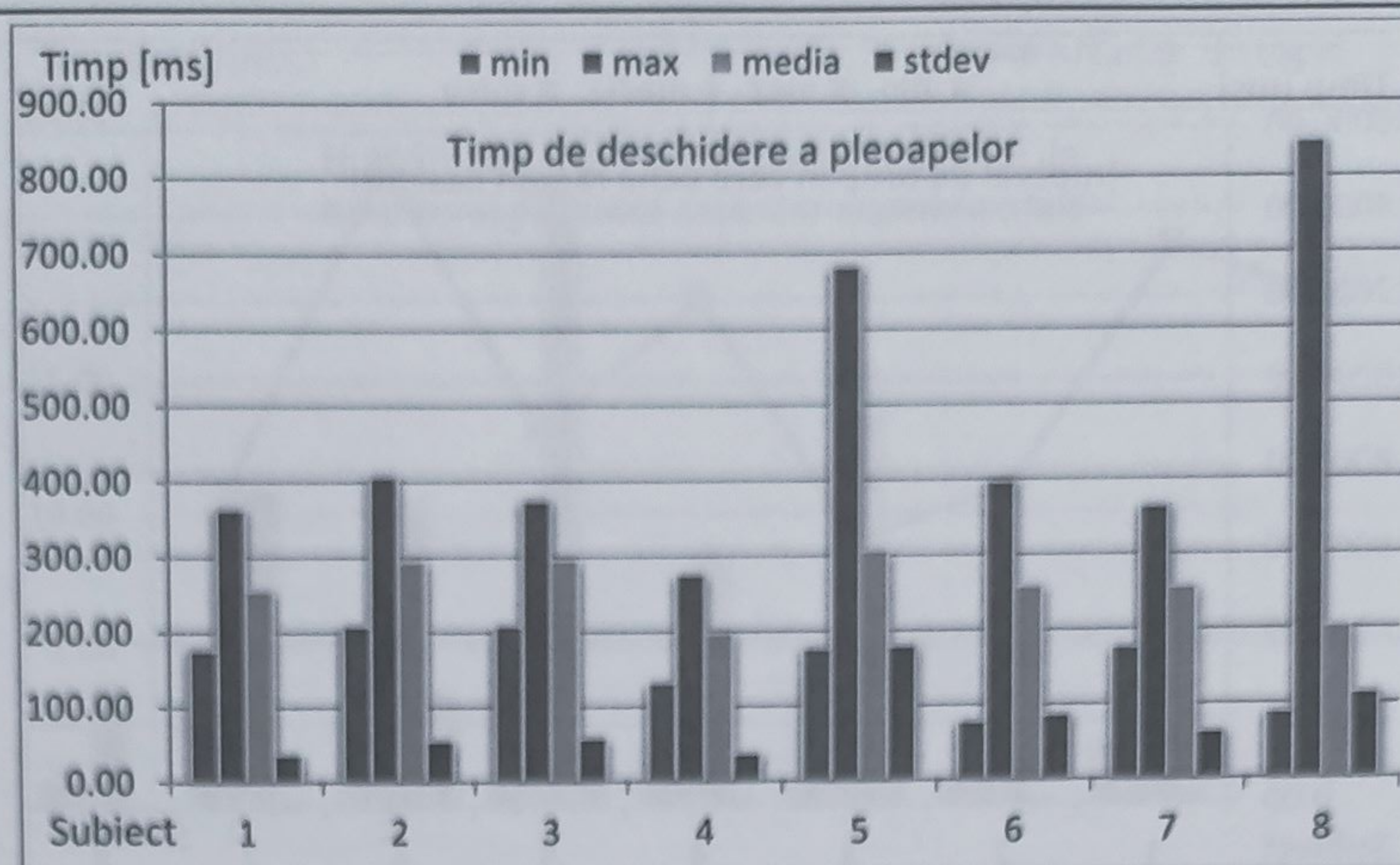


**Figura 5.67** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

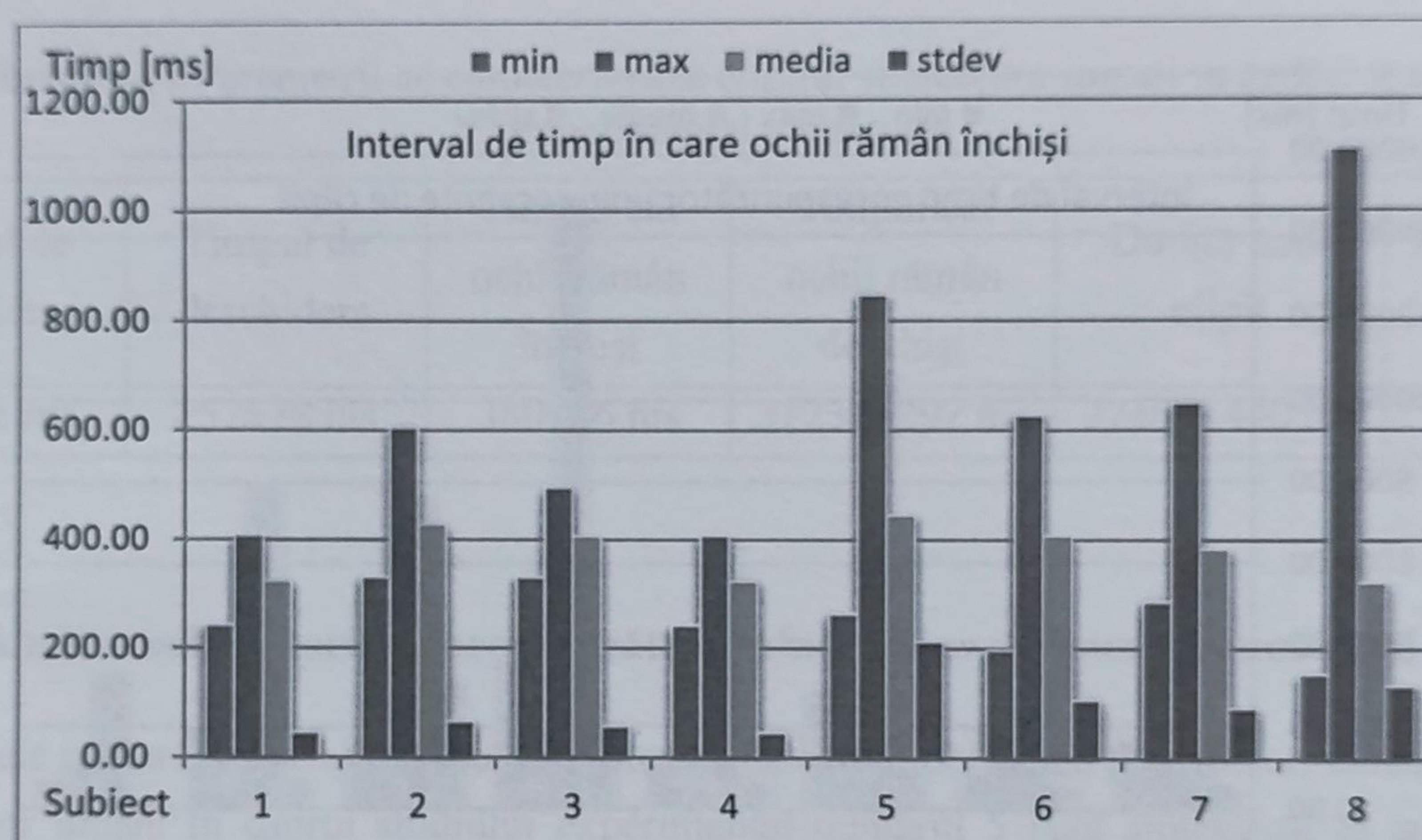
Timpul de deschidere a pleoapelor sunt prezentați în figura 5.68. Conform acesteia timpul de deschidere a pleoapelor, corespunzător acestui caz este de  $257 \pm 38$  ms, specificat cu o încredere de 95%, ce caracterizează mobilitatea subiecților pe parcursul acestui experiment.

Timpul în care pleoapele acoperă în totalitate ochii, observat din figura 5.69, este de  $380 \pm 46$  ms, ce descrie cu o precizie de 95%, comportamentul de închidere a pleoapelor în cadrul acestui experiment





**Figura 5.68** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

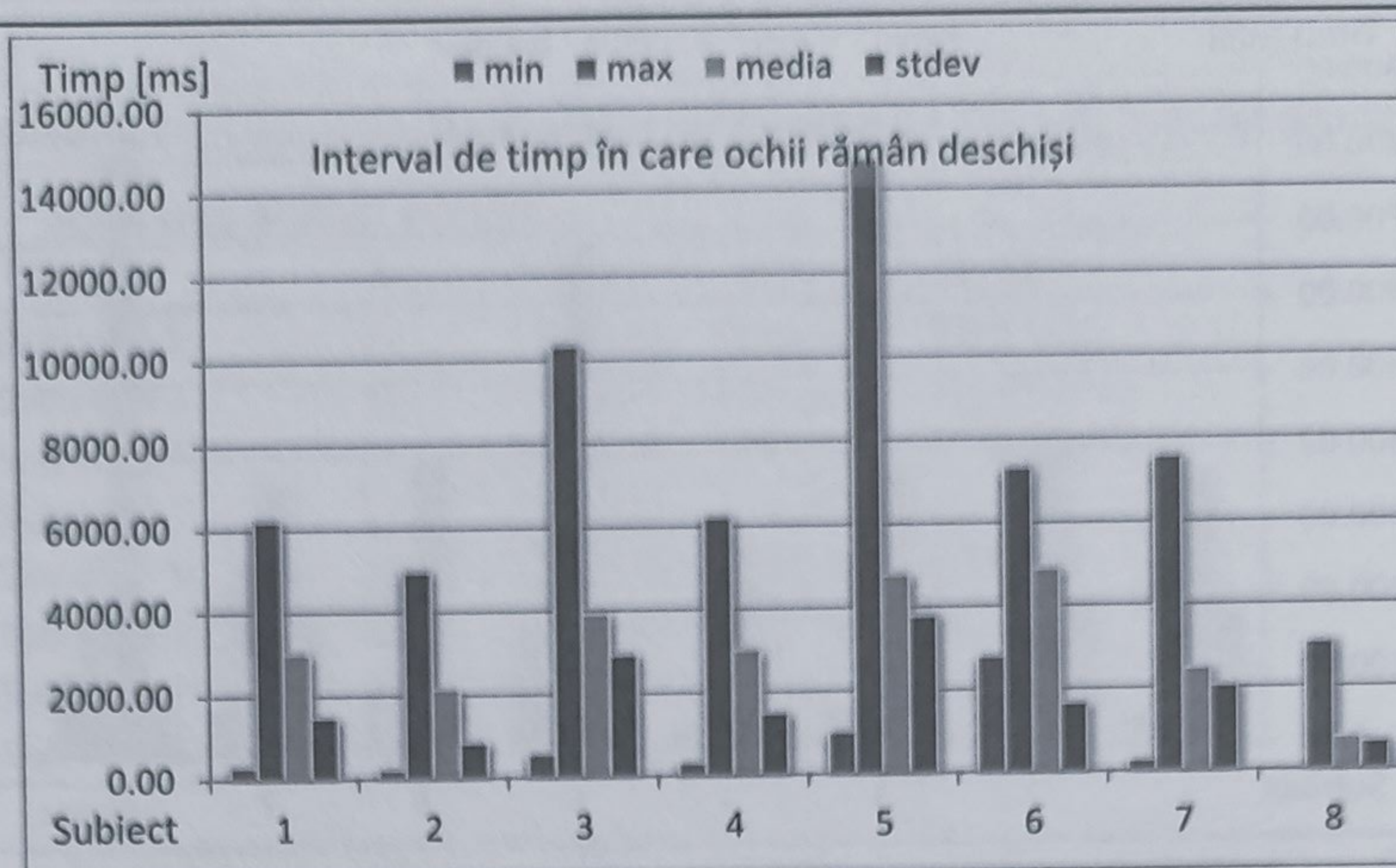


**Figura 5.69** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși specifice studiului experimental numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor corespunzătoare subiecților monitorizați

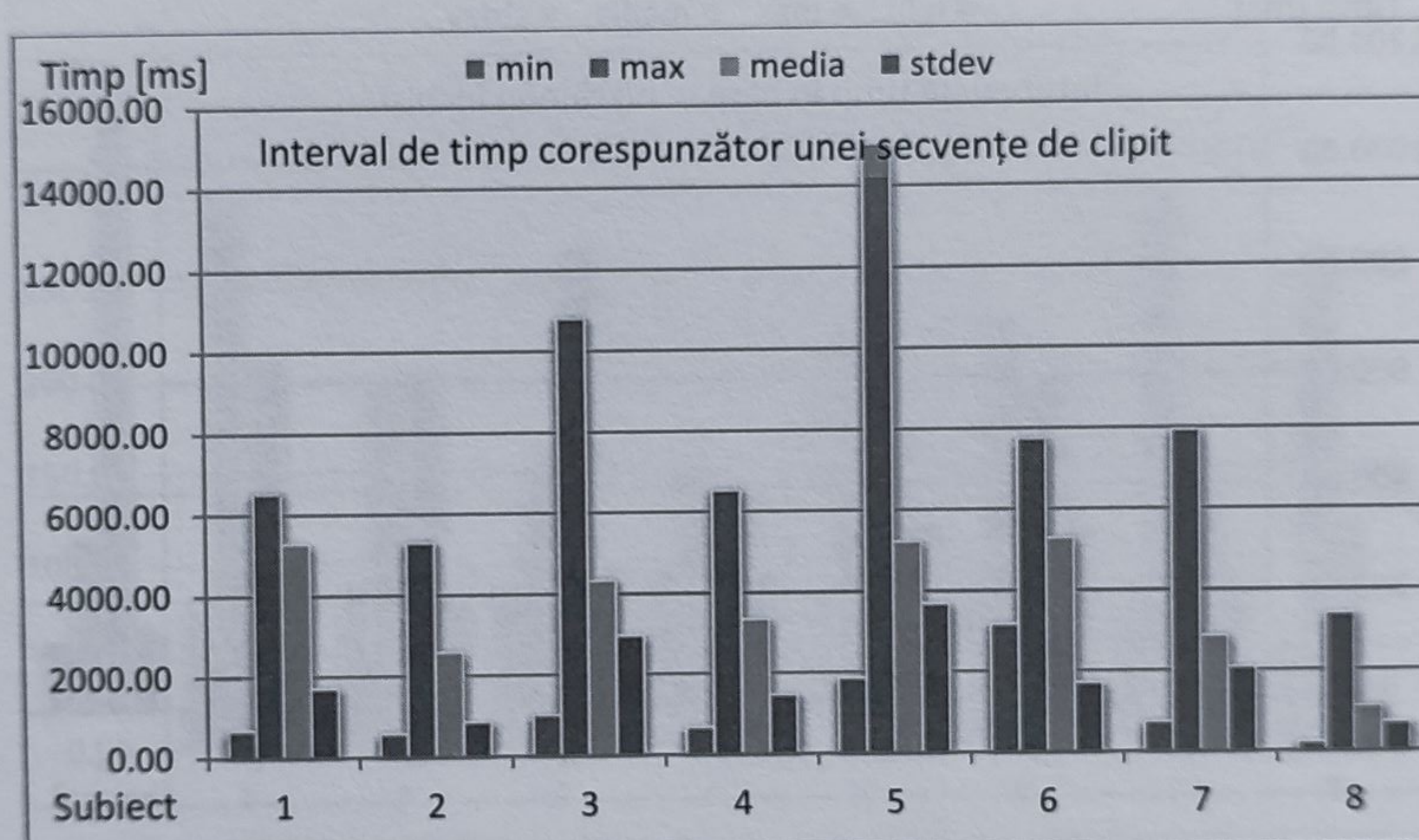
Analizând timpul de deschidere a pleoapelor, conform datelor prezentate în figura 5.70, s-a observat un timp în care ochii rămân deschiși, de  $3123 \pm 1292$  ms, ce specifică cu o încredere de 95 %, tendința de variație a acestui parametru, în cadrul experimentului numărul 4.

Studiind intervalul de timp corespunzător unei secvențe de clipit, conform datelor experimentale prezentate în figura 5.71, s-a observat că durata unui clipit a fost de  $3746 \pm 1440$  ms, valoare ce caracterizează cu o încredere de 95 %, comportamentul acestui parametru în acest caz experimental.





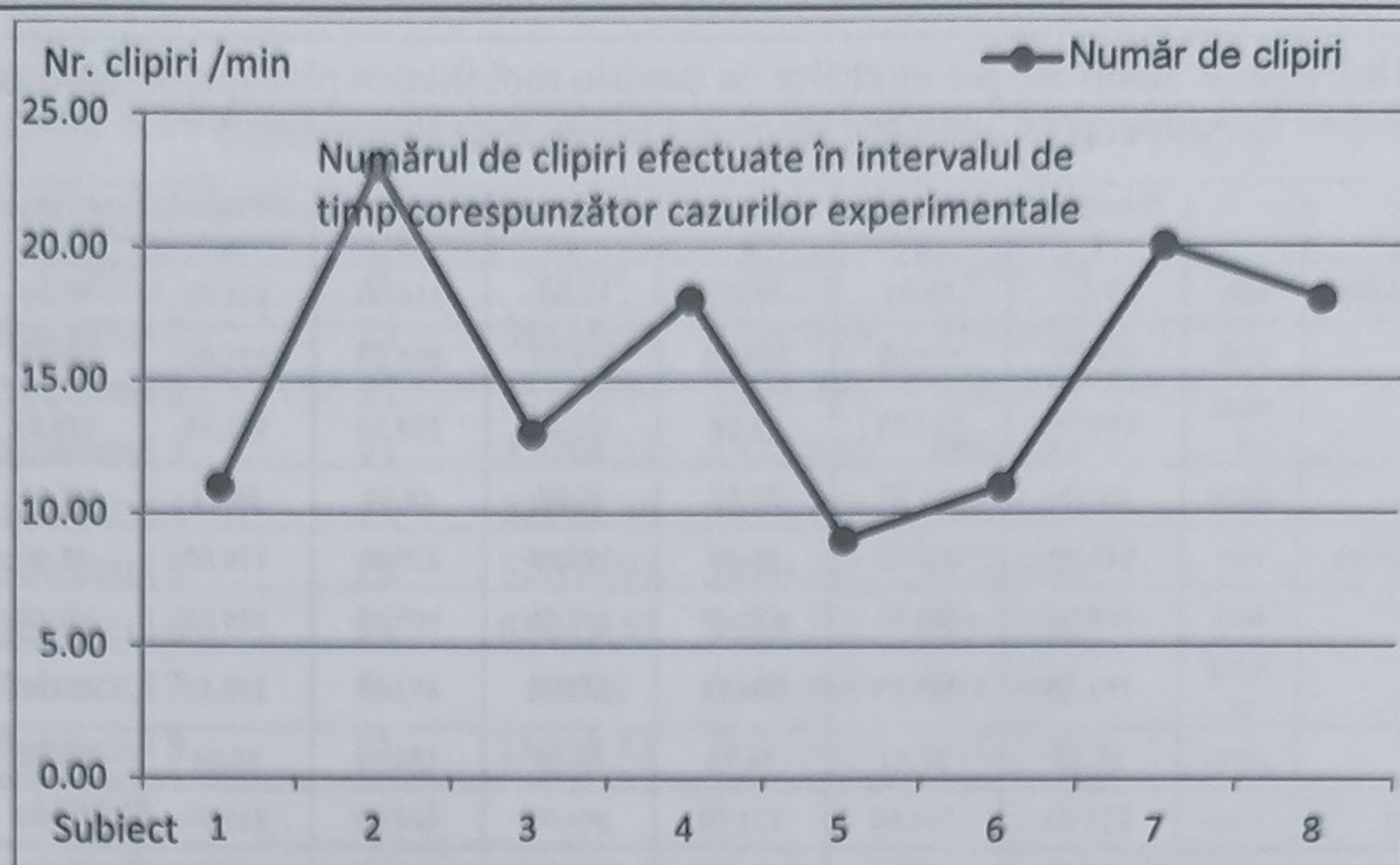
**Figura 5.70** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice studiului experimental numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definiției privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



**Figura 5.71** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice studiului experimental numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definiției privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

Numărul de clipiri specific acestui caz este prezentat în figura 5.72. Analizând aceste date, s-a observat că subiecții umani au clipit în medie de  $15 \pm 5$  ori, valoare ce descrie cu o încredere de 95%, comportamentul subiecților în acest caz. Tabelul 5.17 prezintă o sinteză a parametrilor specifici acestui caz, descriși cu o încredere de 95% prin care este caracterizat modul în care subiecții umani clipesc în acest caz experimental.





**Figura 5.72** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiecții umani în intervalul de timp alocat cazului experimental numărul 4, realizate prin prelucrarea măsurărilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

**Tabelul 5.17** Parametrii ce caracterizează clipitul subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 4

Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
128±11 ms	257±38 ms	380±46 ms	3123±1292 ms	3746±1440 ms	15±5 ori

### 5.3.5. Analiza măsurărilor corespunzătoare studiului experimental numărul 5

Rezultatele măsurărilor asupra parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 5 sunt sintetizate în tabelul 5.18. Tabelul 5.18 prezintă valorile minime, maxime, medii și deviația standard, corespunzătoare timpului de închidere, timpului de deschidere, timpului cât ochii rămân închiși, timpului cât ochii rămân deschiși, durata unui clipit și numărul de clipiri, specifice fiecărui subiect uman din cadrul studiului experimental numărul 5. În continuare s-a realizat corelația dintre valorile specifice fiecărui subiect uman, pentru a determina omogenitatea comportamentului dintre subiecți în cadrul experimentului. Analizând coeficienții de corelație prezentați în tabelul 5.19, se poate observa un nivel ridicat de corelație dintre comportamentul subiecților, în cadrul studiului experimental numărul 5. S-a realizat în continuare analiza varianței (ANOVA), pentru a confirma omogenitatea grupului, deci comportamentul similar al subiecților pe parcursul stadiului experimental.



**Tabelul 5.18** Valorile medii ale parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților în cadrul studiului experimental numărul 5

unitatea de măsură[ms]		Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
timpul de închidere	min	77.00	55.00	44.00	66.00	110.00	121.00	88.00	88.00
	max	374.00	209.00	154.00	209.00	264.00	231.00	198.00	198.00
	medi a	159.18	117.15	94.88	135.06	169.13	161.33	138.81	136.23
	stdev	65.36	36.36	25.17	38.07	48.56	36.85	28.30	24.48
timpul de deschidere	min	143.00	165.00	66.00	176.00	220.00	176.00	88.00	121.00
	max	264.00	462.00	297.00	297.00	605.00	385.00	330.00	330.00
	medi a	192.18	308.55	204.88	240.78	452.38	298.83	252.48	199.41
	stdev	35.22	87.41	56.74	35.15	139.73	63.64	53.94	53.67
ochii închiși	min	231.00	231.00	121.00	264.00	429.00	319.00	176.00	209.00
	max	605.00	572.00	418.00	473.00	825.00	616.00	506.00	473.00
	medi a	351.35	425.70	299.75	375.83	621.50	460.17	391.29	335.64
	stdev	85.50	93.86	74.45	52.15	151.42	92.56	71.90	57.23
ochii deschiși	min	891.00	165.00	22.00	154.00	3531.00	759.00	110.00	209.00
	max	10153.00	6457.00	9108.00	5203.00	10516.00	22880.00	5434.00	3586.00
	medi a	3126.59	2497.00	3362.56	2906.44	6399.25	8347.17	2326.24	1354.97
	stdev	2171.05	1609.64	2692.62	1335.14	2551.57	7475.52	1481.02	827.27
durata unui clipit	min	1133.00	396.00	143.00	462.00	4048.00	1177.00	286.00	506.00
	max	10406.00	6897.00	9504.00	5555.00	11297.00	23199.00	5830.00	3872.00
	medi a	3477.94	2922.70	3662.31	3275.56	7020.75	8807.33	2717.52	1690.62
	stdev	2180.40	1649.56	2721.80	1340.21	2597.34	7436.96	1492.52	824.90
număr de clipiri pe minut		17.00	20.00	16.00	18.00	8.00	6.00	21.00	39.00

**Tabelul 5.19** Coeficienții de corelație dintre subiecți specifici studiului experimental numărul 5

	Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
Subiectul 1	1							
Subiectul 2	0.993047	1						
Subiectul 3	0.990593	0.99685	1					
Subiectul 4	0.970078	0.987768	0.980931	1				
Subiectul 5	0.943066	0.942145	0.928638	0.960937	1			
Subiectul 6	0.989994	0.993068	0.99849	0.976567	0.93322	1		
Subiectul 7	0.988119	0.998925	0.996294	0.992641	0.945184	0.992543	1	
Subiectul 8	0.993813	0.997481	0.990008	0.98537	0.951472	0.986067	0.995336	1

Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de încredere  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.20, s-a observat că valoarea parametrului F determinat pentru acest studiu,  $F=2,053$ , este mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,067$ , și că valoarea determinată a dispersiei, corespunzătoare valorilor specifice acestui studiu,  $p=0,5155$ , este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții ipoteza de nul, conform căreia nu există diferențe semnificative între subiecți, nu este respinsă.

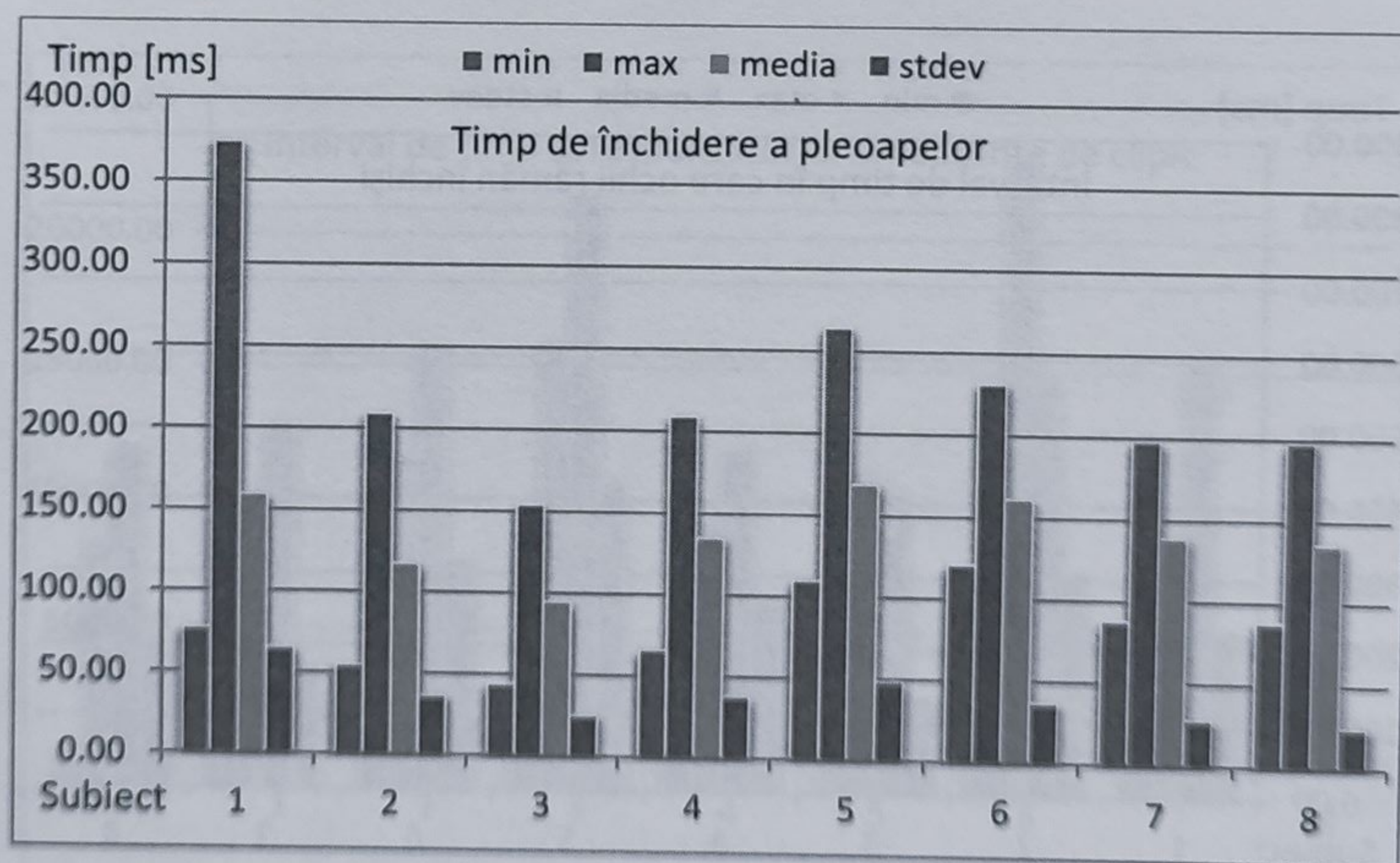


**Tabelul 5.20** Analiza varianței corespunzătoare studiului experimental numărul 5

Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
Subiectul 1	21	36138.76	1720.893	9172413		
Subiectul 2	21	25376.94	1208.425	3992239		
Subiectul 3	21	33088.15	1575.626	8050192		
Subiectul 4	21	22611.38	1076.732	2862964		
Subiectul 5	21	52004.63	2476.411	12190062		
Subiectul 6	21	83049.37	3954.732	49735856		
Subiectul 7	21	22021	1048.619	2921645		
Subiectul 8	21	15135.43	720.7347	1195950		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	1.62E+08	7	23135259	2.053699	0.051558	2.067237
În interiorul Grupului	1.8E+09	160	11265165			
Total	1.96E+09	167				

Conform indicatorilor statistici, comportamentul subiecților în cadrul acestui studiu experimental 5 este omogen. S-a trecut în continuare la caracterizarea modului în care subiecții se comportă în cadrul acestui studiu experimental. În figura 5.73 sunt prezentate datele referitoare la timpii de închidere a pleoapelor, ce caracterizează mobilitatea în cadrul acestui studiu experimental.

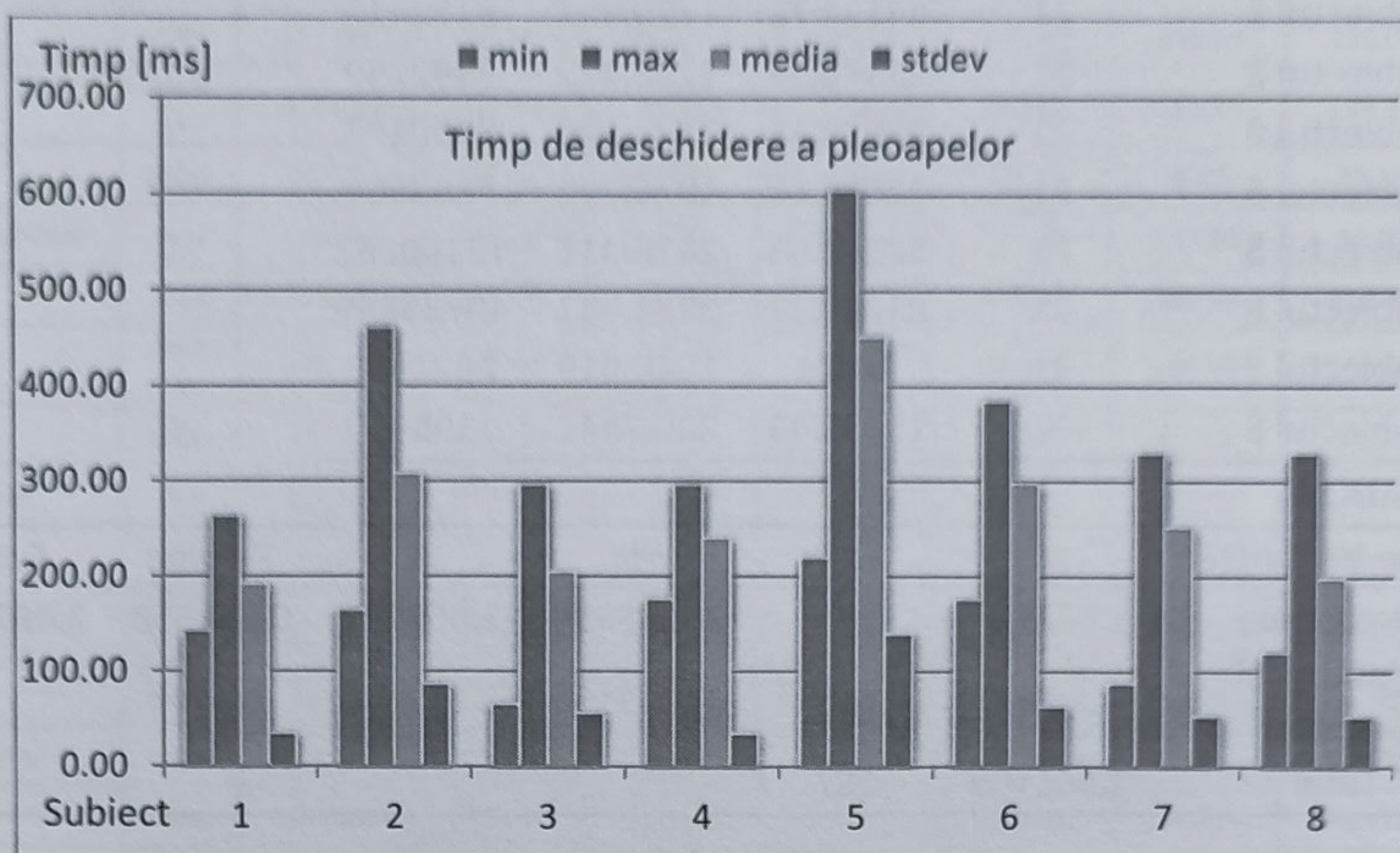
Analizând aceste date se observă timpul mediu de închidere a pleoapelor de  $138 \pm 23$  ms, ceea ce caracterizează cu o încredere de 95% comportamentul timpului de închidere, pentru subiecții umani în acest caz.



**Figura 5.73** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

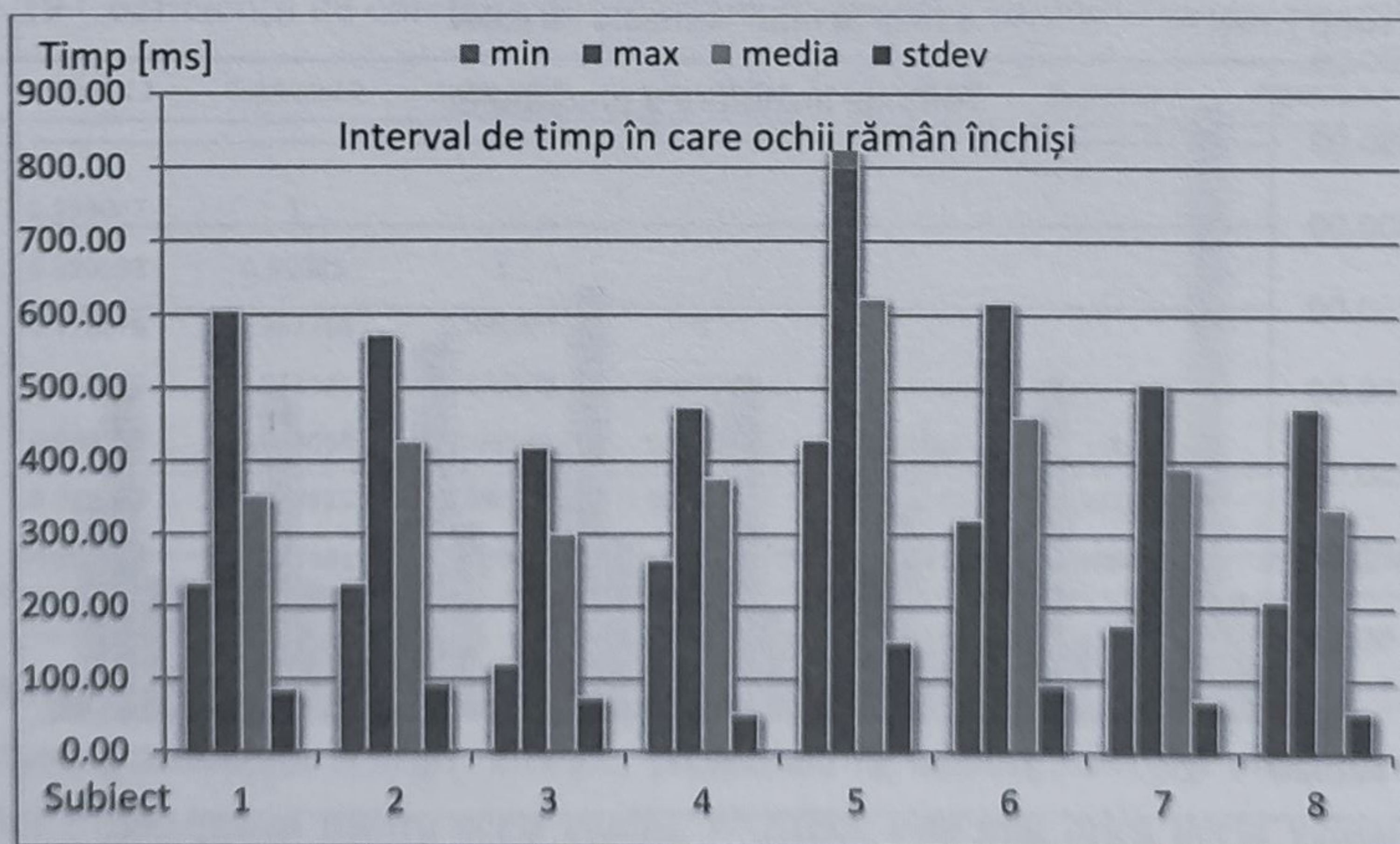


Timpii de deschidere a pleoapelor sunt prezentați în figura 5.74. Conform acesteia timpul de deschidere a pleoapelor, corespunzător acestui caz este de  $268 \pm 80$  ms, specificat cu o încredere de 95%, ce caracterizează mobilitatea subiecților pe parcursul acestui experiment.



**Figura 5.74** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definiției privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

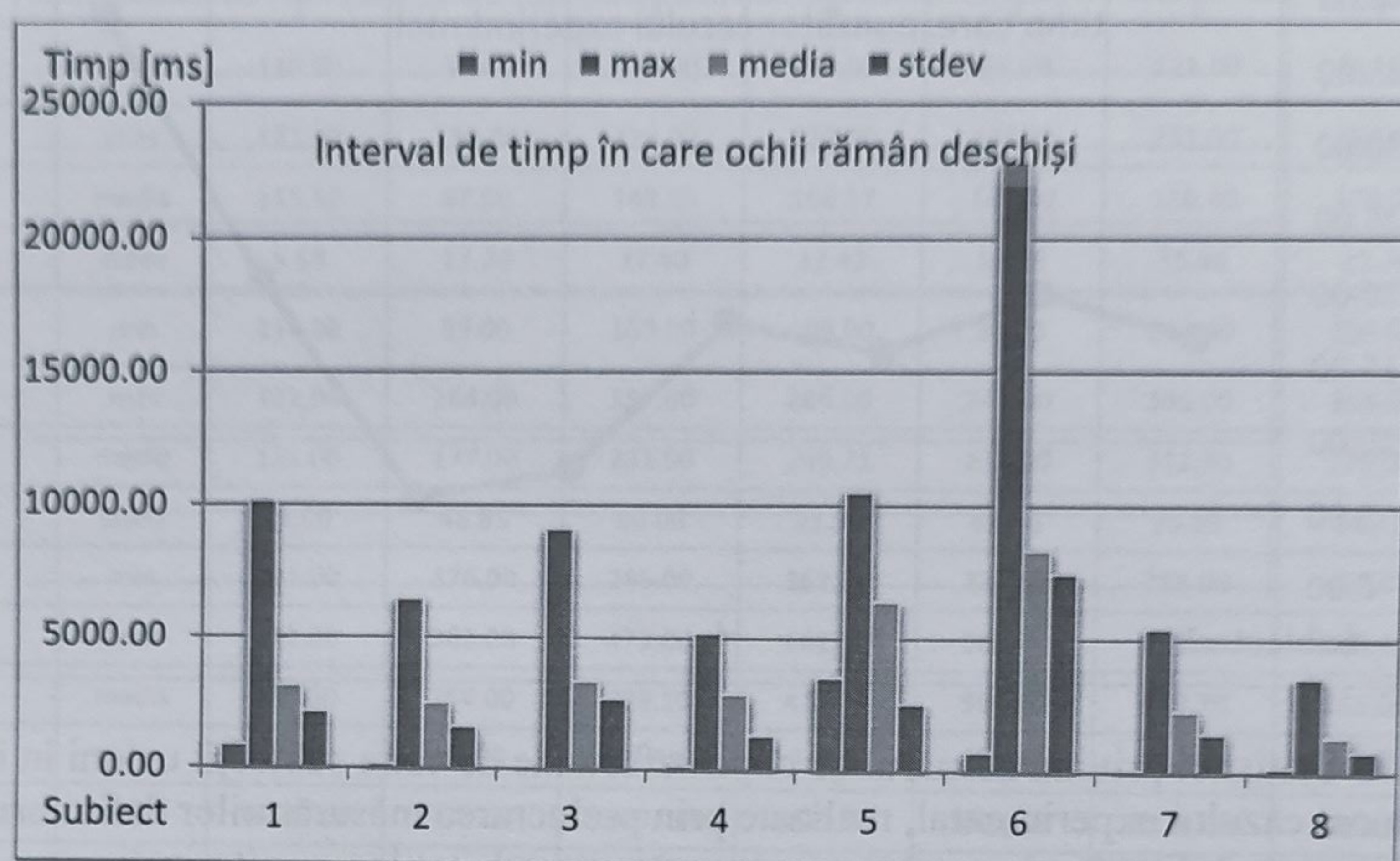
Timpul în care pleoapele acoperă în totalitate ochii, observat din figura 5.75, este de  $407 \pm 93$  ms, ce descrie cu o precizie de 95%, comportamentul de închidere a pleoapelor în cadrul acestui experiment.



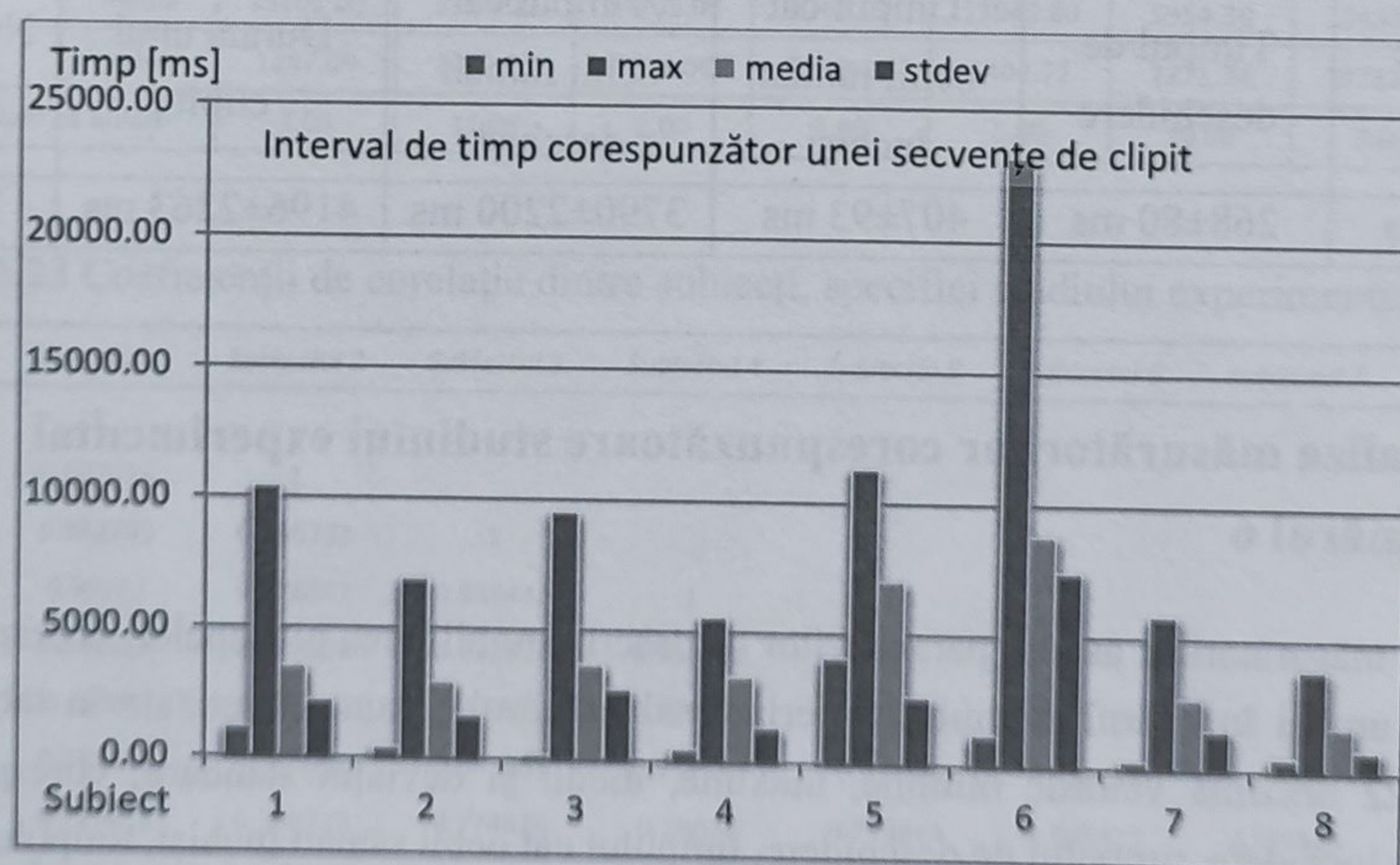
**Figura 5.75** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice studiului experimental numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definiției privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



Analizând timpul de închidere a pleoapelor, conform datelor prezentate în figura 5.76, s-a observat un timp în care ochii rămân deschiși de  $3790 \pm 2200$  ms, ce specifică cu o încredere de 95 %, tendința de variație a acestui parametru în cadrul experimentului numărul 5. Studiind intervalul de timp corespunzător unei secvențe de clipit, conform datelor experimentale prezentate în figura 5.77, s-a observat că durata unui clipit a fost de  $4196 \pm 2263$  ms, valoare ce caracterizează cu o încredere de 95 %, comportamentul parametrului în acest caz.



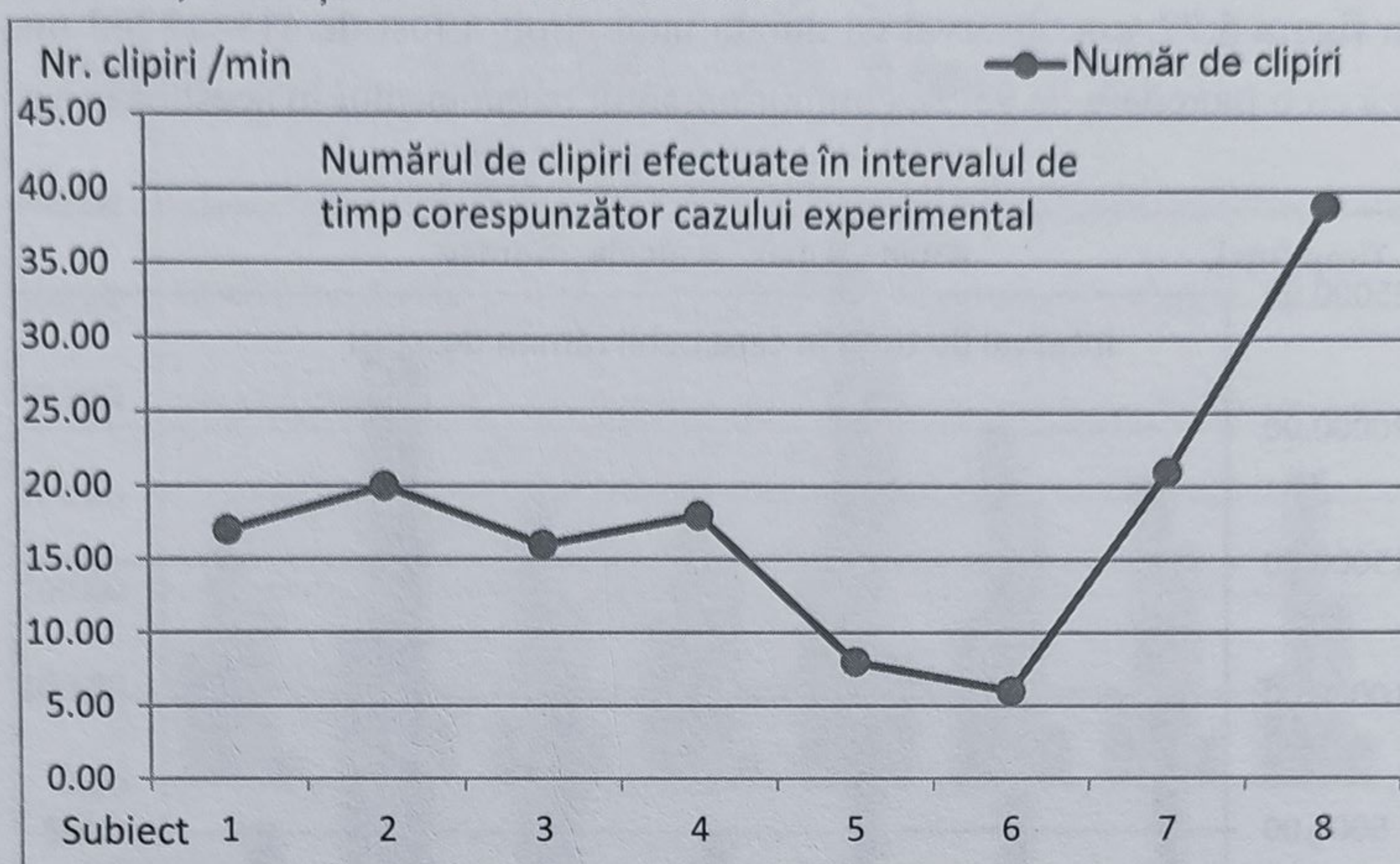
**Figura 5.76** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice studiului experimental numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



**Figura 5.77** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit, specifice studiului experimental numărul 5, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



Numărul de clipiri specific acestui caz este prezentat în figura 5.78. Analizând aceste date, s-a observat că subiecții umani au clipit în medie de  $18 \pm 9$  ori, valoare ce descrie cu o încredere de 95%, comportamentul subiecților în acest caz. Tabelul 5.21 prezintă o sinteză a parametrilor specifici acestui caz, descriși cu o încredere de 95%.



**Figura 5.78** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiecții umani în intervalul de timp alocat cazului experimental, realizate prin prelucrarea măsurărilor definitorii, privind mobilitățile pleoapelor corespunzătoare subiecților monitorizați

**Tabelul 5.21** Parametrii ce caracterizează clipitul subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 5

Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
$138 \pm 23$ ms	$268 \pm 80$ ms	$407 \pm 93$ ms	$3790 \pm 2200$ ms	$4196 \pm 2263$ ms	$18 \pm 9$ ori

### 5.3.6. Analiza măsurărilor corespunzătoare studiului experimental numărul 6

Rezultatele măsurărilor asupra parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 6 sunt sintetizate în tabelul 5.22. Tabelul 5.22 prezintă valorile minime, maxime, medii și deviația standard, corespunzătoare timpului de închidere, timpului de deschidere, timpului cât ochii rămân închiși, timpului cât ochii rămân deschiși, durata unui clipit și numărul de clipiri, specifice fiecărui subiect uman din cadrul studiului experimental numărul 6. În continuare s-a realizat corelația dintre valorile specifice fiecărui subiect uman, pentru a determina omogenitatea comportamentului dintre subiecți în cadrul experimentului. Analizând coeficienții de corelație prezentați în tabelul 5.23, se poate



observa un nivel ridicat de corelație dintre comportamentul subiecților, în cadrul studiului experimental numărul 6. S-a realizat în continuare analiza varianței, pentru a confirma omogenitatea grupului, deci comportamentul similar al subiecților pe parcursul stadiului experimental.

**Tabelul 5.22** Valorile medii ale parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare subiecților în cadrul studiului experimental numărul 6

unitatea de măsură[ms]		Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
timpul de închidere	min	110.00	55.00	121.00	121.00	66.00	121.00	143.00	121.00
	max	121.00	110.00	176.00	220.00	242.00	231.00	198.00	176.00
	media	115.50	87.00	148.50	166.57	147.40	158.40	176.00	148.50
	stdev	5.50	17.20	27.50	32.43	56.35	35.88	23.76	27.50
timpul de deschidere	min	110.00	99.00	165.00	198.00	99.00	264.00	209.00	165.00
	max	132.00	264.00	297.00	286.00	341.00	385.00	363.00	297.00
	media	121.00	177.00	231.00	246.71	233.20	311.30	275.00	231.00
	stdev	11.00	48.85	66.00	31.59	99.46	35.83	64.77	66.00
ochii închiși	min	231.00	176.00	286.00	363.00	231.00	385.00	407.00	462.00
	max	242.00	363.00	473.00	462.00	583.00	539.00	506.00	413.29
	media	236.50	264.00	379.50	413.29	380.60	469.70	451.00	29.90
	stdev	5.50	54.30	93.50	29.90	131.38	54.79	41.16	29.00
ochii deschiși	min	13585.00	770.00	10791.00	2849.00	3421.00	3278.00	3993.00	9317.00
	max	16148.00	8756.00	18040.00	9317.00	21879.00	10648.00	35893.00	6351.71
	media	14866.50	4982.00	14415.50	6351.71	13565.20	5484.60	14982.00	1183.49
	stdev	1281.50	2346.94	3624.50	2332.02	6521.83	2303.22	14792.72	6521.83
durata unui clipit	min	13816.00	1023.00	11264.00	3267.00	3905.00	3795.00	4499.00	3905.00
	max	16390.00	8932.00	18326.00	9680.00	22110.00	11077.00	36333.00	22110.00
	media	15103.00	5246.00	14795.00	6765.00	13945.80	5954.30	15433.00	13945.80
	stdev	1287.00	2332.84	3531.00	2327.10	6409.72	2271.74	14783.81	6409.72
număr de clipiri pe minut		2.00	11.00	2.00	7.00	5.00	10.00	3.00	10.00

**Tabelul 5.23** Coeficienții de corelație dintre subiecți, specifici studiului experimental numărul 6

	Subiectul 1	Subiectul 2	Subiectul 3	Subiectul 4	Subiectul 5	Subiectul 6	Subiectul 7	Subiectul 8
Subiectul 1	1							
Subiectul 2	0.802516	1						
Subiectul 3	0.982743	0.895793	1					
Subiectul 4	0.90992	0.976887	0.969445	1				
Subiectul 5	0.836558	0.997002	0.921925	0.987706	1			
Subiectul 6	0.89369	0.973122	0.95601	0.990035	0.979583	1		
Subiectul 7	0.737689	0.97685	0.847883	0.939844	0.97388	0.952629	1	
Subiectul 8	0.720611	0.768222	0.774324	0.79628	0.779864	0.803815	0.780538	1

Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de încredere  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.24, s-a observat că valoarea parametrului F determinat pentru acest studiu,  $F=1,4546$ , este mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,067$ , și că valoarea determinată a dispersiei corespunzătoare valorilor specifice

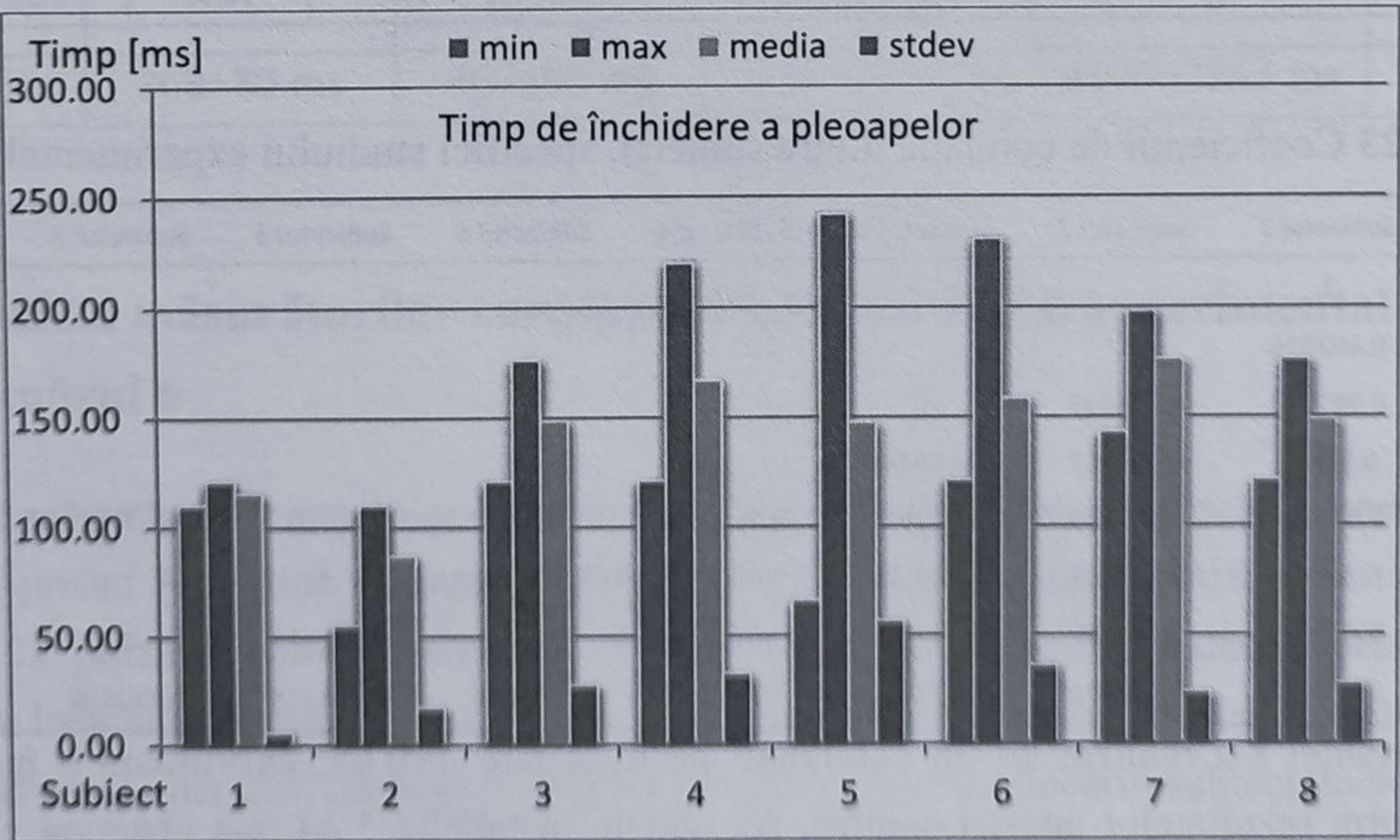


acestui studiu,  $p=0,1871$ , este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții ipoteza de nul, conform căreia nu există diferențe semnificative între subiecți, este valabilă.

**Tabelul 5.24** Analiza varianței corespunzătoare studiului experimental numărul 6

Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
Subiectul 1	21	93920	4472.381	46872120		
Subiectul 2	21	36115.13	1719.768	7982039		
Subiectul 3	21	97253	4631.095	45361142		
Subiectul 4	21	45466.33	2165.063	9930820		
Subiectul 5	21	94372.94	4493.95	51667008		
Subiectul 6	21	47812.77	2276.799	11472012		
Subiectul 7	21	143570.2	6836.677	1.28E+08		
Subiectul 8	21	71920.74	3424.797	33253521		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	4.26E+08	7	60867285	1.454675	0.187186	2.067237
În interiorul Grupului	6.69E+09	160	41842539			
Total	7.12E+09	167				

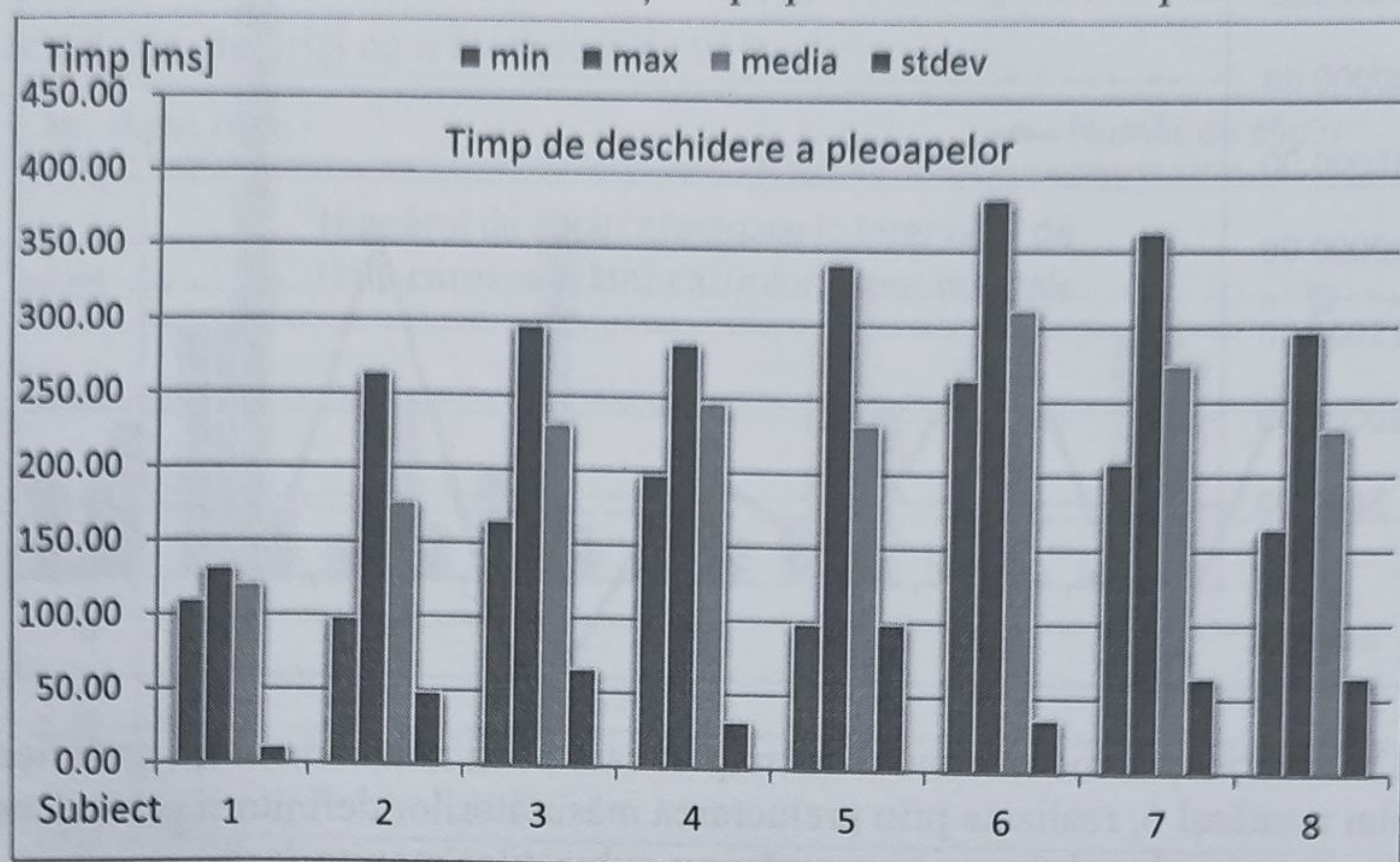
Conform indicatorilor statistici, comportamentul subiecților în cadrul acestui studiu experimental este omogen. S-a trecut în continuare la caracterizarea modului în care subiecții se comportă în cadrul acestui studiu experimental. În figura 5.79 sunt prezentate datele referitoare la timpii de închidere a pleoapelor, ce caracterizează mobilitatea în cadrul acestui studiu experimental. Analizând aceste date se observă timpul mediu de închidere a pleoapelor de  $148 \pm 27$  ms, ceea ce caracterizează cu o încredere de 95% comportamentul timpului de închidere, pentru subiecții umani în acest caz.



**Figura 5.79** Statistici privind timpul de închidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

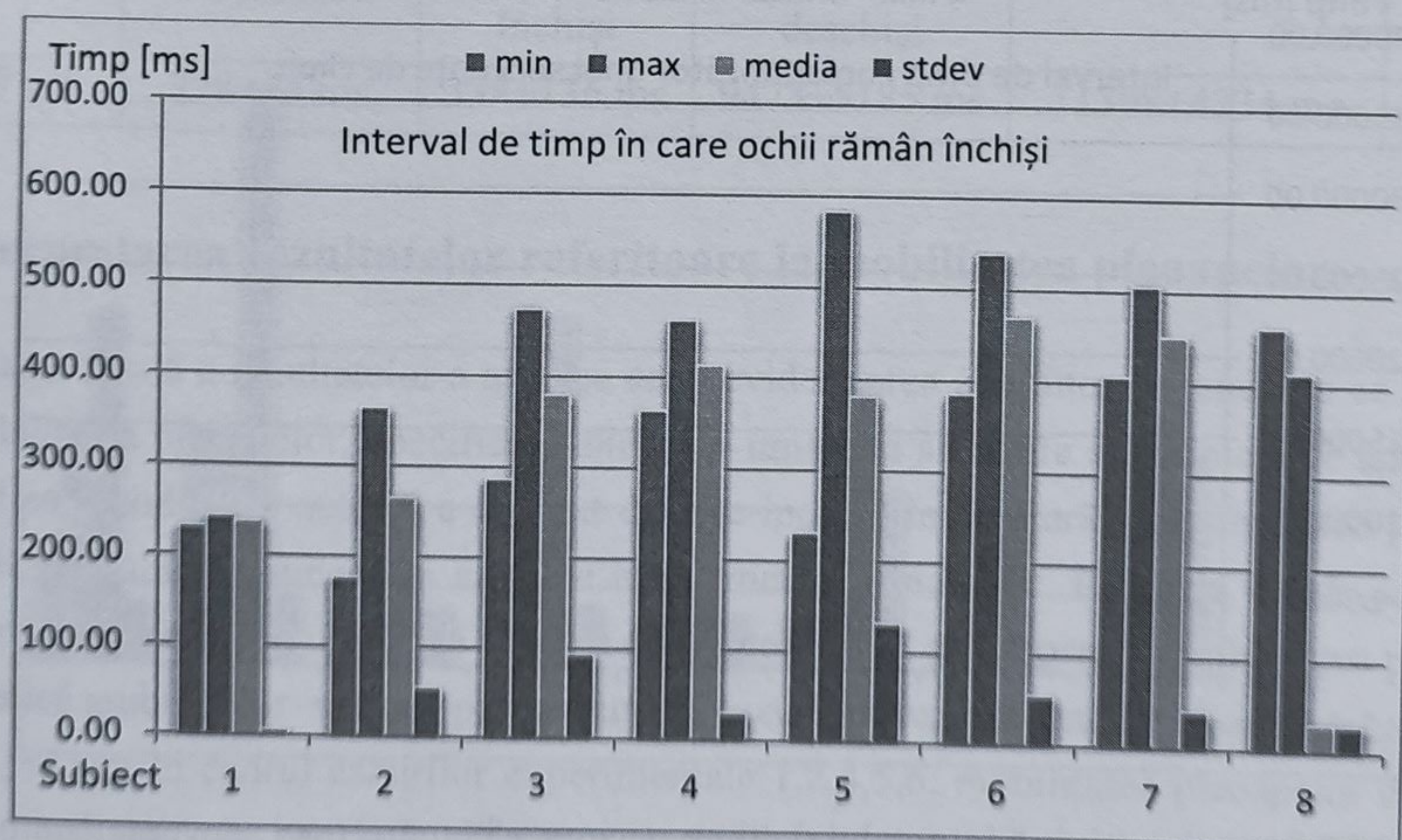


Timpii de deschidere a pleoapelor sunt prezentați în figura 5.80. Conform acesteia timpul de deschidere a pleoapelor, corespunzător acestui caz este de  $228 \pm 54$  ms, specificat cu o încredere de 95%, ce caracterizează mobilitatea subiecților pe parcursul acestui experiment.



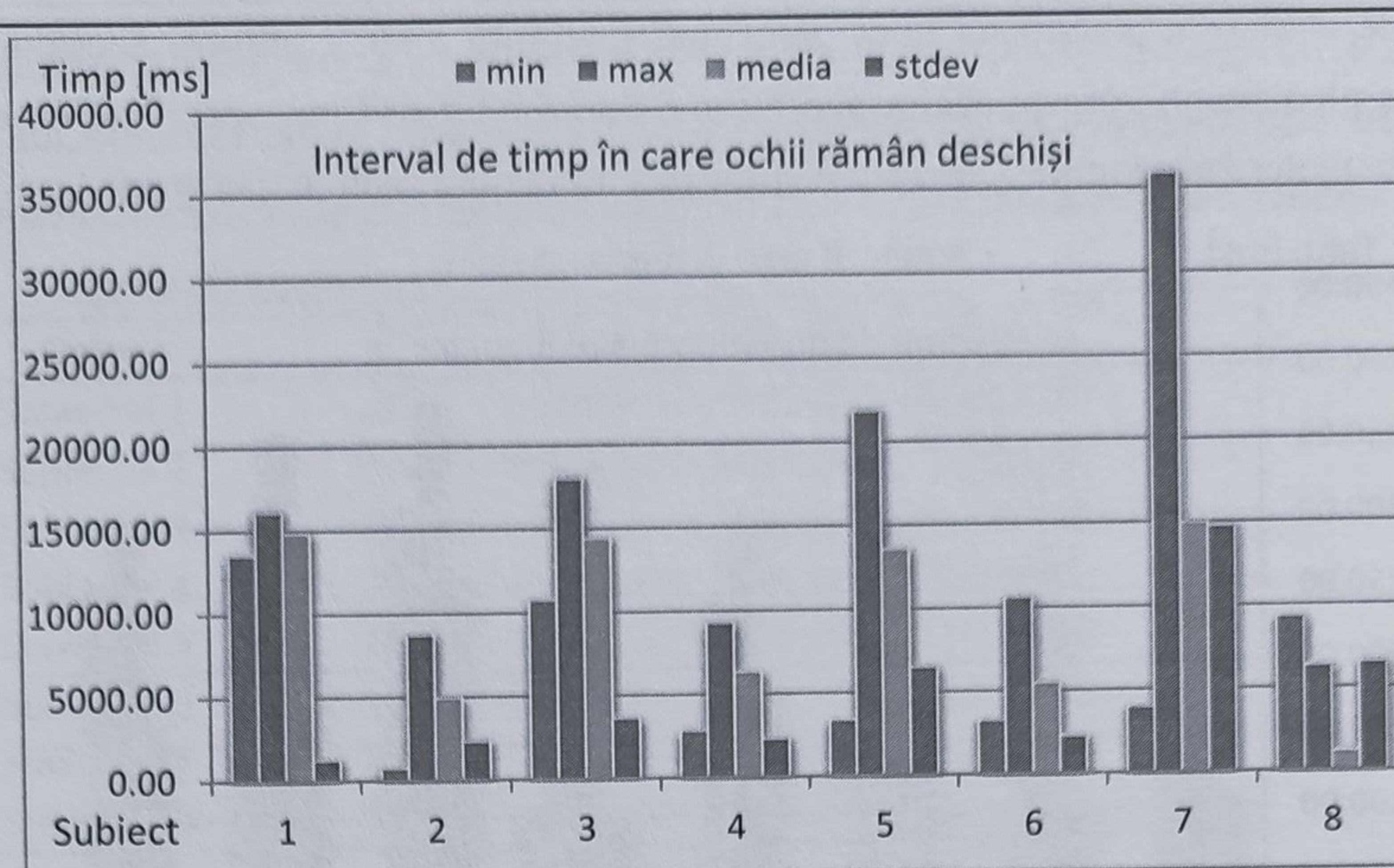
**Figura 5.80** Statistici privind timpul de deschidere a pleoapelor, specifice studiului experimental numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

Timpul în care pleoapele acoperă în totalitate ochii, observat din figura 5.81, este de  $338 \pm 136$  ms, ce descrie cu o precizie de 95%, comportamentul de închidere a pleoapelor în cadrul acestui experiment.



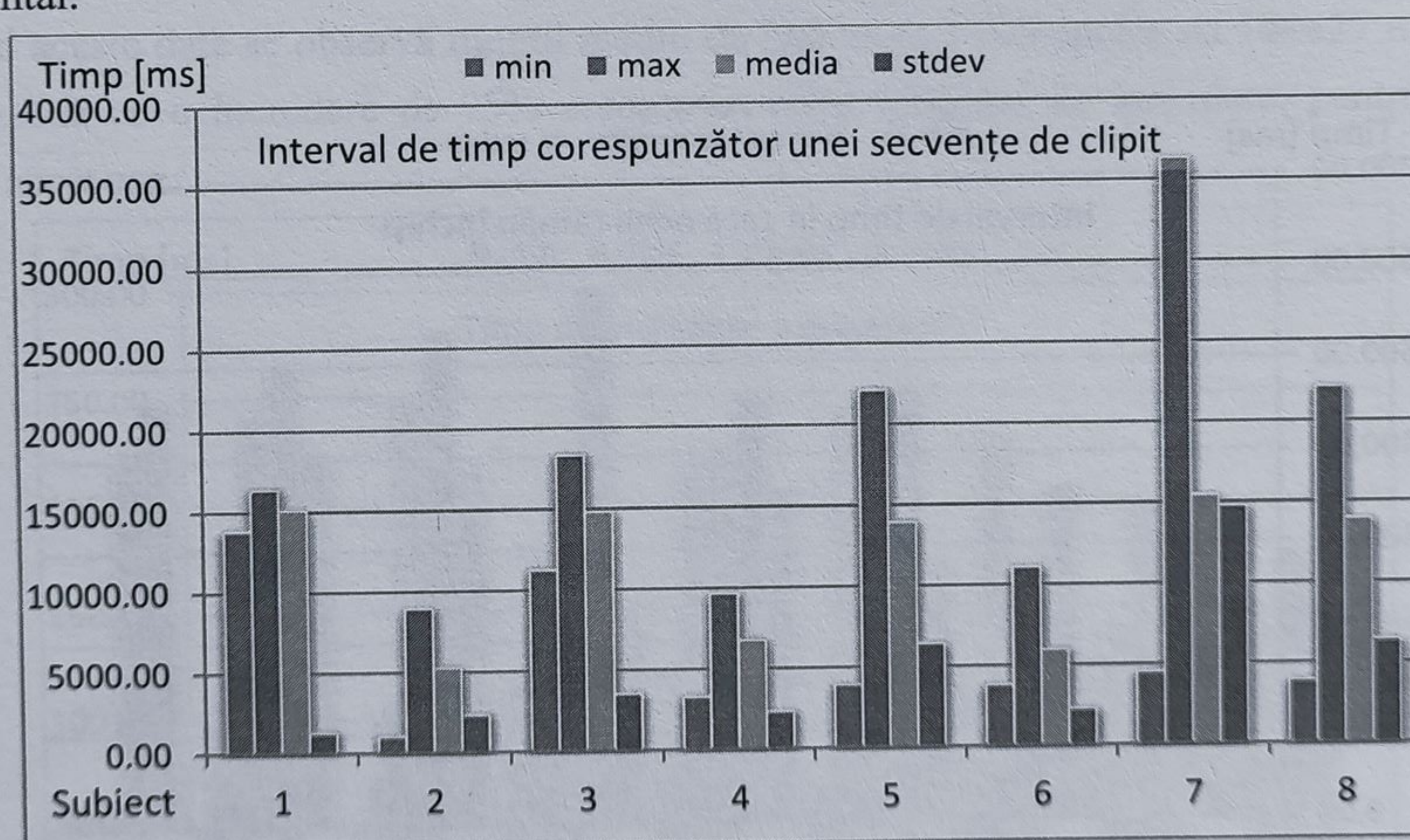
**Figura 5.81** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân închiși, specifice studiului experimental numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați





**Figura 5.82** Statistici privind intervalul de timp în care ochii rămân deschiși, specifice studiului experimental numărul 6, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

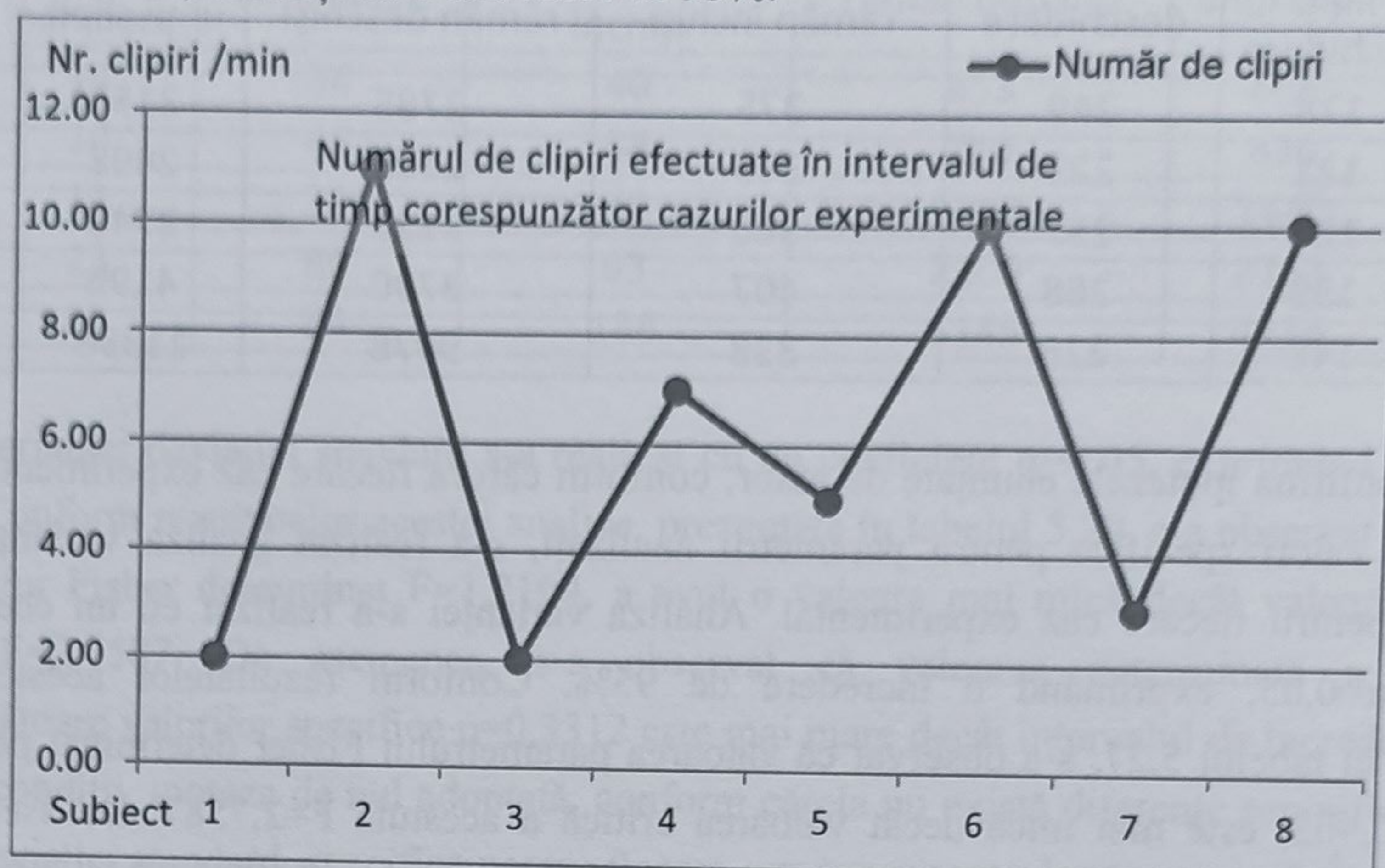
Analizând timpul de deschidere a pleoapelor, conform datelor prezentate în figura 5.82, s-a observat un timp în care ochii rămân deschiși de  $9478 \pm 5185$  ms, ce specifică cu o încredere de 95 %, tendința de variație a acestui parametru în cadrul experimentului numărul 6. Studiind intervalul de timp corespunzător unei secvențe de clipit, conform datelor experimentale prezentate în figura 5.83, s-a observat că durata unui clipit a fost de  $11398 \pm 4234$  ms, valoare ce caracterizează cu o încredere de 95 %, comportamentul acestui parametru în acest caz experimental.



**Figura 5.83** Statistici privind intervalul de timp necesar efectuării unei secvențe complete de clipit specifice studiului experimental, realizate prin prelucrarea măsurătorilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați



Numărul de clipiri specific acestui caz este prezentat în figura 5.84. Analizând aceste date, s-a observat că subiecții umani au clipit în medie de  $6 \pm 3$  ori, valoare ce descrie cu o încredere de 95%, comportamentul subiecților în acest caz. Tabelul 5.25 prezintă o sinteză a parametrilor specifici acestui caz, descriși cu o încredere de 95%.



**Figura 5.84** Statistici privind numărul de clipiri efectuate de către subiecții umani în intervalul de timp alocat cazului experimental, realizate prin prelucrarea măsurărilor definitorii privind mobilitățile pleoapelor, corespunzătoare subiecților monitorizați

**Tabelul 5.25** Parametrii ce caracterizează clipitul subiecților umani în cadrul studiului experimental numărul 6

Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
$148 \pm 27$ ms	$228 \pm 54$ ms	$338 \pm 136$ ms	$9478 \pm 5185$ ms	$11398 \pm 4234$ ms	$6 \pm 3$ ori

#### 5.4. Interpretarea rezultatelor referitoare la mobilitatea pleoapelor

Interpretarea finală a rezultatelor a avut ca scop evidențierea anumitor dependențe ce pot apărea între mobilitatea pleoapelor, specifică subiecților umani și situațiile experimentale analizate. Pe parcursul capitolului 5.1 autorul a enunțat diferite ipoteze în legătură cu mobilitatea pleoapelor, prezentată de subiecții umani în cazurile experimentale analizate. Pentru a valida sau infirma aceste ipoteze s-a realizat o analiză finală a datelor obținute, referitoare la mobilitatea pleoapelor, caracteristică subiecților umani pe parcursul cazurilor experimentale. Conform rezultatelor statistic, precum în cadrul cazurilor experimentale 1,2,4,5,6, mobilitatea pleoapelor descrisă de subiecții analizați nu prezintă diferențe semnificative, s-a dovedit faptul că mobilitatea pleoapelor poate fi descrisă cu o precizie de 95% de intervalele determinate pentru fiecare caz experimental. Tabelul 5.26 prezintă o sinteză a valorilor specifice ce descriu mobilitatea pleoapelor, corespunzătoare cazurilor experimentale ce au fost dovedite statistic ca fiind omogene. Valorile deviațiilor standard specifice sunt sintetizate prin intermediul tabelul 5.28.



**Tabelul 5.26** Valorile medii ale parametrilor ce caracterizează mobilitatea pleoapelor, specifică subiecților umani în cadrul studiilor experimentale

	Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
Cazul 1	128	249	375	2785	3156	19
Cazul 2	121	223	346	2108	2698	19
Cazul 4	128	257	380	3123	3746	15
Cazul 5	138	268	407	3790	4196	18
Cazul 6	148	228	338	9078	11398	6

Pentru a confirma ipotezele enunțate de autor, conform cărora fiecare caz experimental poate fi descris de valori specifice pentru parametrii analizați, s-a realizat analiza varianței acestor parametri pentru fiecare caz experimental. Analiza varianței s-a realizat cu un coeficient de dispersie  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.27, s-a observat că valoarea parametrului Fisher determinat pentru acest studiu  $F=0,902$ , este mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,7587$ . De asemenea s-a observat că valoarea determinată a dispersiei, corespunzătoare valorilor specifice  $p=0,4776$ , este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții, ipoteza de nul care a fost adoptată pentru verificarea rezultatelor, conform căreia nu există diferențe semnificative între valorile specifice pentru fiecare caz experimental este respinsă. În consecință, cele cinci cazuri experimentale ce au dovedit omogenitate statistică sunt caracterizate de valori diferite ale timpilor medii ce descriu mobilitatea pleoapelor.

**Tabelul 5.27** Analiza varianței corespunzătoare valorilor medii, specifice fiecărui studiu experimental

Rezultatele Analizei Varianței						
Grupe	N	Suma	Media	Varianța		
Cazul 1	6	6712	1118.6666 7	2085488.2 7		
Cazul 2	6	5515	919.16666 7	1367622.1 7		
Cazul 4	6	7649	1274.8333 3	2852300.5 7		
Cazul 5	6	8817	1469.5	3854155.1		
Cazul 6	6	2119	3532.6666	27526850.		
		6	7	7		
ANOVA						
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value	F crit
Între Grupe	27200135. 1	4	6800033.7 8	0.9021863	0.4776283 3	2.7587104 7
În interiorul Grupului	188432084	25	7537283.3 5			
Total	215632219	29				

În continuare s-a realizat analiza statistică a deviațiilor standard precizate în tabelul 5.28.



**Tabelul 5.28** Valorile deviației standard ce caracterizează mobilitatea pleoapelor, descrisă de subiecții umani în cadrul studiilor experimentale

	Timpul de închidere	Timpul de deschidere	Timpul cât ochii rămân închiși	Timpul cât ochii rămân deschiși	Durata unui clipit	Numărul de clipiri
Cazul 1	14	34	40	653	666	5
Cazul 2	14	46	54	710	830	8
Cazul 4	11	38	46	1292	1440	5
Cazul 5	23	80	93	2200	2263	9
Cazul 6	27	54	136	5185	4234	3

Analiza varianței deviației standard s-a realizat cu un coeficient  $\alpha=0,05$ , exprimând o încredere de 95%. Conform rezultatelor acestei analize, prezentate în tabelul 5.29, s-a observat că valoarea parametrului Fisher determinat  $F=1,2104$ , a avut o valoare mai mică decât valoarea critică a acestuia  $F=2,7587$ . De asemenea, s-a observat că valoarea determinată a dispersiei, corespunzătoare valorilor specifice  $p=0,3312$  este mai mare decât intervalul de încredere  $\alpha=0,05$ . În aceste condiții, ipoteza de nul adoptată, conform căreia nu există diferențe semnificative între valorile deviației standard, specifice pentru fiecare caz experimental este respinsă. În consecință, fiecare caz experimental este descris de o anumită valoare independentă a deviației standard.

**Tabelul 5.29** Analiza varianței corespunzătoare valorilor deviației standard, prezentată de mobilitatea pleoapelor specifică fiecărui studiu experimental

Rezultatele Analizei Varianței					
Grupe	N	Suma	Media	Varianța	
Cazul 1	6	1412	235.3333	108130.3	
Cazul 2	6	1662	277	147583.6	
Cazul 4	6	2832	472	481973.2	
Cazul 5	6	4668	778	1269025	
Cazul 6	6	9639	1606.5	5869616	
ANOVA					
Sursa Varianței	SS	df	MS	F	P-value F crit
Între Grupe	7627281	4	1906820	1.210475	0.331204 2.75871
În interiorul Grupului	39381637	25	1575265		
Total	47008917	29			

Considerând ca argumente valide, analizele statistice ce au dovedit mobilitatea omogenă a pleoapelor, determinată pentru subiecții umani în fiecare din cele cinci studii experimentale și ținând cont de analiza statistică, ce a dovedit că între cele cinci cazuri experimentale sunt diferențe semnificative, autorul confirmă identificarea cu o încredere de 95% a parametrilor specifici, ce descriu mobilitatea pleoapelor, specifică fiecărui caz experimental.



### 5.5. Dependente confirmate statistic ce descriu mobilitatea pleoapelor

În urma analizei rezultatelor obținute referitor la mobilitatea pleoapelor, autorul a identificat următoarele dependente dovedite statistic dintre diverși parametri măsurați ai mobilității pleoapelor și situațiile speciale cărora le-au fost supuși subiecții în timpul experimentelor.

- s1. Corespunzător cazului experimental numărul 1, în care subiectul uman își focalizează privirea asupra unui punct fix, s-a identificat următoarea dependență. Subiectul clipește în medie de  $19 \pm 5$  ori pe minut, prezintă un timp de închidere a pleoapelor de  $128 \pm 14$  ms și un timp de deschidere a pleoapelor de  $249 \pm 34$  ms. De asemenea, mobilitatea pleoapelor este descrisă și de valoarea medie cât durează un clipit de  $3156 \pm 666$  ms, timpul în care ochii rămân închiși de  $375 \pm 40$  ms și timpul în care ochii sunt deschiși de  $2785 \pm 653$  ms;
- s2. Corespunzător cazului experimental numărul 2, în care subiectul a fost liber să își orienteze privirea în orice direcție, nefiind nevoit să îndeplinească o sarcină anume, s-a identificat următoarea dependență. Subiectul clipește de  $19 \pm 8$  ori pe minut, prezintă un timp de închidere a pleoapelor de  $121 \pm 13$  ms și un timp de deschidere de  $223 \pm 46$  ms. Durata unui clipit a fost determinată ca fiind  $2698 \pm 830$  ms, iar timpul în care ochii rămân deschiși a fost de  $2108 \pm 710$  ms;
- s3. Corespunzător cazului experimental numărul 4, în care subiectul este iluminat cu o sursă de luminozitate constantă, s-a observat numărul de  $15 \pm 5$  clipiri pe minut, cu o durată medie de  $3746 \pm 1440$  ms și un timp cât ochii rămân deschiși de  $3123 \pm 1292$  ms. Timpul în care ochii sunt închiși a fost de  $380 \pm 46$  ms, iar timpul de deschidere a pleoapelor a fost de  $257 \pm 38$  ms. Timpul de închidere a pleoapelor a constatat o medie de  $128 \pm 11$  ms;
- s4. Corespunzător cazului experimental numărul 5, în care subiectul este iluminat cu o sursă de lumină de luminozitate variabilă, s-a observat un număr de  $18 \pm 9$  clipiri pe minut, o durată a unui clipit de  $4196 \pm 2263$  ms și un timp ridicat în care ochii rămân deschiși  $3790 \pm 2200$  ms. Timpul în care ochii rămân deschiși a avut o valoare de  $407 \pm 93$  ms, timpul de deschidere a pleoapelor a fost de  $268 \pm 80$  ms, iar timpul de închidere de  $138 \pm 23$  ms;
- s5. Corespunzător cazului experimental numărul 6, în care subiectul uman își concentrează atenția vizuală pentru a lectura un text prezentat pe ecranul calculatorului, s-a observat un număr de clipiri de  $6 \pm 3$  ori pe minut, și timpul de închidere a pleoapelor a fost de  $148 \pm 27$  ms, iar timpul de deschidere a fost de  $228 \pm 54$  ms. Durata medie a unei secvențe de clipit a fost de  $11398 \pm 4234$  ms, din care  $9478 \pm 5185$  ms au reprezentat perioade în care ochiul a rămas deschis. Subiectul a avut ochii închiși pe durata a  $338 \pm 136$  ms și a prezentat un timp de deschidere a pleoapelor de  $148 \pm 27$  ms;
- s6. Corespunzător cazului experimental numărul 3, nu s-a putut determina în mod statistic omogenitatea mobilității oculare. Analizând însă mobilitatea subiecților 2 și 6, s-a constatat că acestea sunt corelate, fac parte din aceeași populație și prin urmare, se poate considera că cei doi subiecți au avut o mobilitate asemănătoare. Analizând mobilitatea prezentată de aceștia, corespunzător cazului experimental numărul 3 în comparație cu



restul cazurilor, s-a constatat că aceștia au prezentat în acest caz un număr minim de clipiri 9, respectiv 5 clipiri pe minut și un timp maxim în care ochii rămân deschiși. Aceste observații, cumulate cu faptul că în acest caz experimental cinci din cei opt subiecți nu au clipit, conduc la ipoteza că mobilitatea măsurată în acest caz ar putea fi omogenă, însă nu a putut fi justificată statistic.

## 5.6. Rezumat și concluzii generale asupra capitolului

Obiectivul principal al acestui capitol a constat în analizarea rezultatelor măsurărilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, specifică fiecărui subiect monitorizat. Analizarea rezultatelor a fost realizată în două moduri. Primul tip de analiză a constat în evaluarea parametrilor specifici ce descriu mobilitatea pleoapelor, pentru fiecare subiect uman. Procedura de analiză a avut ca scop identificarea unor similarități ce se pot observa la nivelul mobilității subiecților, valabile și pentru restul grupului de subiecți. În acest sens, au fost identificate similarități complexe, descrise de parametri analizați și care au fost confirmate de analiza statistică realizată asupra mobilității pleoapelor, corespunzătoare fiecărui caz experimental. Modalitatea a doua de analiză a parametrilor specifici ce a analizat variațiile parametrilor, în cadrul fiecărui caz experimental a avut ca scop validarea sau infirmarea ipotezelor identificate referitoare la tiparul privind mobilitatea corespunzătoare unui anumit caz experimental. Această modalitate de analiză a confirmat pe cale statistică faptul că în cinci din cele șase cazuri experimentale au fost identificate dependențe ale mobilității pleoapelor. Pentru a explica apariția acestor dependențe, autorul a corelat rezultatele experimentale cu câteva observații empirice, referitoare la posibili factori ce au influențat concretizarea acestor modele. Explicațiile autorului referitoare la factorii ce au influențat concretizarea dependențelor de mobilitate sunt sintetizate prin următoarele:

- i. Mobilitatea pleoapelor corespunzătoare cazului experimental 6, în care subiectul uman lecturează un text este pusă pe seama nivelului ridicat de concentrare al atenției vizuale, ceea ce implică coordonarea ochilor pentru a urmări textul și o cât mai bună vizibilitate a acestuia. Această ipoteză a fost susținută de numărul cel mai mic de clipiri pe minut șase, din cadrul studiilor experimentale și cel mai mare timp în care ochii rămân deschiși 9078 ms. De asemenea, această dependență este susținută și de valoarea minimă a timpului cât ochii rămân închiși de 338 ms. Valorile acestor parametri confirmă ipoteza că subiectul maximizează vizibilitatea textului, prin timpul redus în care are ochii închiși și numărul redus de clipiri. În condiții normale, fapt ce se datorează unui nivel de concentrare al atenției vizuale ridicat, specific situației când subiectul realizează o sarcină creativă.
- ii. Valorile parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor din cazurile experimentale 4 și 5, în care subiecții sunt supuși unei lumini puternice provenite de la două surse, una de luminozitate constantă, iar cealaltă de luminozitate variabilă, este pusă pe seama nivelului ridicat de stres vizual, provocat de lumina puternică direcționată spre ochii subiecților. Această ipoteză este susținută de numărul ridicat de clipiri realizate de subiecți, 18 în primul caz și 15 în al doilea caz, de valorile medii ale timpilor în care ochii rămân



deschiși de 3123 ms, respectiv de 3790 ms și de timpii de valori ridicate în care ochii rămân închiși 380 ms, respectiv 407 ms. Valorile similare ale acestor indicatori descriu un nivel de disconfort, provocat de stresul vizual, cauzat de lumina puternică ce se manifestă în mobilitatea pleoapelor printr-un număr ridicat de clipiri, prin care sistemul vizual uman încearcă să se obișnuiască cu stimulul luminos de intensitate ridicată. Perioada de adaptare a sistemului vizual poate fi susținută și de timpii ridicați 407 ms și 380 ms, peste media generală a cazurilor de 369 ms, ce descriu tendința pleoapelor de a obtura cât mai mult lumina percepută de ochii subiectului pentru o adaptare mai facilă. Conform modelelor identificate, parametrii specifici în aceste două cazuri descriu starea de stres vizual provocată de lumina puternică.

- iii. Mobilitatea pleoapelor specifică subiecților în cadrul studiului experimental 2, în care aceștia își focalizează atenția vizuală la libera alegere este descrisă de un număr ridicat de clipiri pe minut 19 și de o durată a clipitului de 2698 ms. Durata minimă a timpului în care ochii rămân deschiși de 2108 ms, comparativ cu media generală de 4176 ms poate descrie starea de relaxare a atenției vizuale și o mobilitate normală a pleoapelor pe parcursul acestui experiment.
- iv. Corespunzător studiului experimental 1, în care subiecții sunt rugați să își focalizeze privirea asupra unui punct fix aflat în fața lor, se observă un minim local al timpului în care ochii rămân închiși de 346 ms și o durată medie a timpului cât ochii rămân deschiși de 2108 ms. Valorile acestor parametri, cumulat cu numărul de clipiri pe minut de 19 clipiri, descriu o comportare periodică a mobilității pleoapelor cu o perioadă de aproximativ 3000 ms. S-a observat că subiecții umani au clipit cu această periodicitate pe tot parcursul experimentului, acest fapt cumulat cu valorile minime ale timpilor de închidere 121 ms și de deschidere 223 ms, descriu o solicitare a atenției vizuale a subiectului. Această solicitare a atenției vizuale provoacă un stres vizual, deoarece subiectul prezintă un număr ridicat de clipiri pe minut, prin intermediul cărora încearcă să își mențină focalizarea asupra punctului fix, resimțind o senzație de disconfort.

Contribuțiile autorului la acest capitol sunt următoarele:

- prelucrarea rezultatelor măsurărilor referitoare la mobilitatea pleoapelor;
- aplicarea procedeeleor de analiză statistică asupra parametrilor mobilității pleoapelor, în scopul identificării unor modele ce pot descrie mobilitatea pleoapelor în cadrul fiecărui caz experimental;
- identificarea unor modele ce descriu comportamentul subiecților pe parcursul fiecărui studiu experimental;
- validarea dependențelor identificate ce descriu mobilitatea pleoapelor pe cale statistică, prin realizarea unei analize a varianțelor parametrilor ce descriu mobilitatea pleoapelor;
- corelarea dependențelor ce caracterizează mobilitatea pleoapelor, validate statistic, cu observații empirice referitoare la factorii ce influențează mobilitatea pleoapelor.



---

## DIRECȚII DE DEZVOLTARE

---



## Stadiul actual al problemei

Studierea mișcărilor ochiului uman este o temă de cercetare actuală, deoarece ochiul furnizează individului informații vizuale ce stau la baza percepției sale asupra lumii reale. Constituind trăsătura cea mai proeminentă a feței umane, ochii și mișcărilor lor dețin un rol important în exprimarea emoțiilor și în relațiile interpersonale.

Cercetările actuale urmăresc crearea de metode neinvazive și robuste pentru detecția și clasificarea mișcărilor ochiului uman, ce au ca finalitate dezvoltarea de aplicații de interacțiune între individul uman și sistemele cu inteligență artificială ce implică atenția umană și aplicații de studiere a stărilor emoționale umane. Caracteristicile și mișcărilor ochiului uman sunt diferite pentru fiecare individ, datorită structurilor diferite din regiunea ochiului și a irisului, dar și a mișcărilor într-un domeniu dinamic pe care acestea le efectuează. Caracteristicile individuale includ: dimensiunea și culoarea irisului, dimensiunile pleoapelor, iluminarea și cantitatea de lumină reflectată de aceste suprafețe.

Caracteristicile vizuale unice aparținând ochiului uman sunt utilizate în cadrul sistemelor digitale de procesare a imaginilor ce au ca scop: detecția și recunoașterea feței umane, recunoașterea expresiilor faciale. Principalii factori ce influențează detecția ochiului uman sunt: suprapunerea pleoapelor peste iris, gradul de deschidere a pleoapelor, variații ale nivelului de segmentare și gradul de reflexie a ochilor, poziția relativă a capului și gradul de reflexie a zonelor din vecinătatea ochiului, influențează negativ precizia și robustețea detecției ochiului uman.

Componenta dinamică ce caracterizează ochiul uman este constituită din mișcări foarte rapide ale pleoapelor în planul transversal, un întreg proces de clipit ce are o durată de câteva zeci până la câteva sute de milisecunde, iar mișcărilor involuntare ale pleoapelor au o durată de câteva zeci de milisecunde. Împreună cu modificări ale poziției irisului, determinate de mișcări ale globului ocular implică achiziționarea imaginilor ce monitorizează aceste procese, cu o viteză și rezoluție îndeajuns de mare pentru a permite analizarea cu o precizie bună a acestor mișcări.

Extinderea cercetărilor asupra algoritmilor integrați în sistemul de monitorizare are ca țintă dezvoltarea unor procedee de măsurare a parametrilor ce caracterizează clipitul subiectului uman, cum sunt: viteza, poziția pleoapelor, poziția globului ocular, frecvența clipitului, mișcări involuntare ale pleoapelor.

Obiectivul principal al Capitolului 3 a constatat în prezentarea modului de implementare și funcționare a algoritmului de detecție a chipului uman și a trăsăturilor faciale. Inițial sunt prezentate argumentele ce susțin dezvoltarea acestui domeniu.

Principalul argument este aplicabilitatea în domenii diverse a unui astfel de sistem de detecție a chipului uman. Sunt realizate aplicații ce încorporează detecția chipului uman în domeniile: medical (monitorizarea pacientului, interfețe de comunicare pentru persoane cu dizabilități), militar (controlul aeronavelor), sisteme de monitorizare a șoferului, realitate virtuală, interfețe de comunicare om mașină.

Utilizând informații referitoare la chipul uman și trăsăturile faciale, se poate studia modul de interacțiune a subiectului cu mediul înconjurător. Sunt prezentate succint problemele specifice



cu, care se confruntă detecția chipului uman și a trăsăturilor faciale. Influențele cele mai importante sunt: iluminarea ambientală, suprapunerea diferitelor obiecte peste regiunea de interes și poziția subiectului uman în cadrul imaginii. Sunt prezentate, de asemenea, studiile realizate de diverși cercetători pentru a determina metoda cea mai eficientă de detecție a chipului uman.

Descrierea modului de implementare a algoritmului de detecție a chipului uman este prezentată în mod detaliat. Evidențierea regiunilor ce descriu pielea umană reprezintă o etapă fundamentală a algoritmului, a cărui principiu a fost prezentat în mod detaliat. Procesul de evidențiere presupune conversia reprezentării imaginii din spațiul RGB în spațiul HSL. Reprezentarea imaginii în HSL prezintă avantajul separării componentelor de culoare, astfel încât face posibilă implementarea unui tabel de căutare ce are rolul de a filtra pixelii descriși de o culoare proprie pielii umane. Tabelul de căutare este aplicat asupra imaginii pentru evidențierea regiunilor ce descriu pielea umană.

Regiunile ce descriu pielea umană sunt prelucrate la nivel binar prin intermediul operatorilor morfologici și analizate prin intermediul descriptorilor. Descriptorii prezentați au fost utilizați pentru a caracteriza particulele regăsite în imagine. Particulele din imagine au fost supuse apoi unor etape de filtrare ce au ca parametri de filtrare descriptorii ai particulei. Prin aplicarea procedurilor de prelucrare a imaginii este determinată regiunea ce descrie chipul uman.

Detecția ochilor și a sprâncenelor utilizează informații referitoare la orientarea chipului uman și a distanței dintre ochi, determinate de etapa de detecție a chipului uman. Localizarea ochilor și a sprâncenelor este realizată prin determinarea perechilor de particule ce îndeplinesc constrângerile descrise de orientare și distanță.

Funcționarea algoritmului a fost prezentată în mod riguros prin exemplificarea rezultatelor etapelor intermediare de procesare. În a doua parte a capitolului a fost realizat un studiu cu privire la performanțele algoritmului de detecție a chipului și a trăsăturilor faciale. Realizarea acestui studiu a presupus achiziția unui set de secvențe video ce au constituit cadrul experimental de analiză. Secvențele video au fost achiziționate în diverse condiții conform modelului descris.

Performanțele algoritmului au fost analizate prin studierea următorilor factori: iluminare, unghiul de înclinare a chipului și distanța dintre subiect și camera video.

Scopul Capitolului 4 a fost descrierea modului în care s-a realizat măsurarea mobilității oculare. Algoritmul realizează detecția inițială a chipului uman și a localizării ochilor și a sprâncenelor în imagine, prin aplicarea metodei de detecție descrisă în capitolul patru. Detecția s-a realizat prin prelucrarea primelor cadre componente ale secvenței video analizate. În urma acesteia sunt determinate pozițiile ochilor, sprâncenelor, orientarea chipului și distanța dintre ochi. Utilizând acești parametri sunt calculate regiunile oculare de interes. Localizarea în imagine a sprâncenelor este considerată ca referință fiabilă pentru determinarea regiunilor de interes.

Urmărirea pozițiilor este realizată prin intermediul algoritmului piramidal de urmărire Lucas-Kanade. Algoritmul utilizează localizarea inițială a sprâncenelor pentru a începe procedura de urmărire. Conform structurii de urmărire este determinat fluxul optic din



vecinătatea punctelor de interes, folosind o fereastră de integrare. Valoarea fluxului optic este utilizată pentru calculul deplasării pozițiilor urmărite între două cadre consecutive. Pozițiile actualizate ale sprâncenelor sunt folosite pentru a calcula localizarea regiunilor oculare. Imaginile regiunilor oculare sunt supuse unui proces de filtrare, ce are rolul de evidențiere a regiunilor de separație dintre globul ocular și pleoape. Etapa de filtrare realizează accentuarea pixelilor ce descriu pleoapele. Imaginile rezultate în urma acestui proces sunt apoi prelucrate pentru detecția pixelilor ce descriu efectiv marginile de separație.

Operatorul de detecție a marginilor este utilizat pentru prelucrarea imaginilor și determinarea pixelilor specifici. Detectarea liniilor specifice pleoapelor s-a realizat prin aplicarea algoritmului de detecție ce folosește transformata Hough. Scopul acestei etape de prelucrare este detecția liniilor ce aproximează orientarea pleoapelor. Liniile specifice sunt descrise de mijlocul pleoapei și colțul interior al ochiului. Algoritmul de detecție identifică liniile specifice pleoapelor și parametrii definitorii pentru acestea, orientarea și vectorul normal. Gradul de închidere al ochilor este calculat utilizând orientările liniilor ce aproximează pleoapele subiectului. Mobilitatea pleoapelor este descrisă de variația unghiului de orientare a pleoapelor măsurat în fiecare cadru al secvenței video. Utilizând algoritmul descris în cadrul acestui capitol este realizată măsurarea mobilității pleoapelor în fiecare cadru al imaginii.

Cercetările actuale urmăresc dezvoltarea de metode neinvazive pentru detecția și măsurarea mobilității oculare. Caracteristicile vizuale unice aparținând ochiului uman sunt utilizate în cadrul sistemelor digitale de procesare a imaginilor ce au ca scop: detecția și recunoașterea feței umane, recunoașterea expresiilor faciale. Principalii factori ce influențează măsurarea mobilității regiunilor oculare sunt: suprapunerea pleoapelor peste iris, gradul de deschidere a pleoapelor, variații ale nivelului de segmentare și gradul de reflexie a ochilor, poziția relativă a capului și gradul de reflexie al zonelor din vecinătatea ochilor.

Autorul a implementat un algoritm capabil să măsoare mobilitatea regiunilor oculare luând în considerare factorii perturbatori enumerați. Componenta dinamică ce caracterizează mobilitatea este constituită din mișcări foarte rapide a pleoapelor în planul transversal. Un întreg proces de clipit are o durată de zeci până la sute de milisecunde, iar mișcările involuntare ale pleoapelor au o durată de câteva zeci de milisecunde. Mobilitatea ridicată specifică pleoapelor, implică achiziționarea de secvențe video ce monitorizează aceste procese cu o viteză și rezoluție îndeajuns de mare pentru a permite analizarea cu precizie a mobilității.

Autorul a folosit pentru măsurarea mobilității pleoapelor secvențe video achiziționate cu o rezoluție de 480x640 pixeli și un număr de 90 de cadre pe secundă. Timpul necesar achiziției unei imagini a fost de 11 milisecunde, valoare ce a permis eșantionarea procesului de clipit cu un număr ridicat de cadre de imagine. Cercetările legate de dezvoltarea acestui algoritm de măsurare, a avut ca țintă dezvoltarea unui sistem de monitorizare și măsură a parametrilor ce caracterizează clipitul subiectului uman.

Obiectivul principal al Capitolului 5 a constat în analizarea rezultatelor măsurătorilor referitoare la mobilitatea pleoapelor, specifică fiecărui subiect monitorizat. Analizarea



rezultatelor a fost realizată în două moduri. Primul tip de analiză a constat în evaluarea parametrilor specifici ce descriu mobilitatea pleoapelor, pentru fiecare subiect uman.

Procedura de analiză a avut ca scop identificarea unor similarități ce se pot observa la nivelul mobilității subiecților, valabile și pentru restul grupului de subiecți. În acest sens, au fost identificate similarități complexe, descrise de parametri analizați și care au fost confirmate de analiza statistică realizată asupra mobilității pleoapelor, corespunzătoare fiecărui caz experimental.

Modalitatea a doua de analiză a parametrilor specifici ce a analizat variațiile parametrilor, în cadrul fiecărui caz experimental, a avut ca scop validarea sau infirmarea ipotezelor identificate referitoare la tiparul privind mobilitatea corespunzătoare unui anumit caz experimental. Această modalitate de analiză a confirmat pe cale statistică faptul că în cinci din cele șase cazuri experimentale au fost identificate dependențe ale mobilității pleoapelor. Pentru a explica apariția acestor dependențe, autorul a corelat rezultatele experimentale cu câteva observații empirice, referitoare la posibili factori ce au influențat concretizarea acestor modele.

### Direcții viitoare de dezvoltare

Cercetările a căror rezultate au fost prezentate în cadrul lucrării de față, constituie fundamentul unor viitoare investigații ce urmăresc extinderea bazei de date utilizată în procesul de analiză și interpretare a mobilității regiunilor oculare, prin dezvoltarea unui cadru experimental complex ce va cuprinde situații practice în care subiecții interacționează cu mediul ambiant.

Se are în vedere mărirea numărului de subiecți studiați în scopul obținerii unei reprezentativități statistice semnificative a rezultatelor obținute privind analiza mobilității pleoapelor. Dezvoltarea susținută în aceste direcții va permite descoperirea de noi dependențe dintre mobilitatea oculară și modul de interacțiune a omului cu mediul.

Informațiile obținute pe această cale vor avea un potențial aplicativ apreciabil în domenii multiple, concretizat prin încorporarea acestora în: sisteme medicale de comunicare cu pacienți afectați de atrofieri musculare grave sau în aparatură medicală ce furnizează informații sigure, folosite în diagnosticarea afecțiunilor medicale ce influențează mobilitatea oculară.

Evaluarea nivelului de oboseală a subiectului uman, folosind măsurători în timp real a mobilității pleoapelor, constituie o altă direcție de cercetare cu aplicabilitate în industria automobilelor prin dezvoltarea unui sistem de siguranță ce monitorizează starea de oboseală a conducătorului auto.

Aplicabilitatea acestor cercetări în domeniul medical este completată de evaluarea nivelului sonor perceput de subiecții ce au un implant cohlear utilizat pentru îmbunătățirea simțului auditiv. Percepția ridicată a nivelului stimulului sonor, de către subiectul uman, provoacă acestuia un clipit involuntar. Studiind mobilitatea pleoapelor utilizând metoda neinvazivă descrisă în cadrul acestei teze, se poate concepe o metodologie de evaluare și ajustare a nivelului sonor perceput de subiect.



Prelucrând imaginile achiziționate prin intermediul unui sistem de camere video ce monitorizează subiectul uman este posibilă dezvoltarea de sisteme prin care interacțiunea om calculator să se realizeze prin intermediul mobilității diferitelor regiuni ale corpului uman. Regiunea oculară, chipul uman, poziția corpului și a membrilor prezintă mobilități specifice ce pot fi distinse și interpretate de un sistem cu inteligență artificială, folosind ca date de intrare măsurătorile furnizate de către algoritmul de procesare a imaginilor. Aceste sisteme au ca aplicații practice sisteme de realitate virtuală, comanda și vizualizarea inteligentă a proceselor în mediul virtual, simulatoare și tehnologii avansate de evaluare a performanțelor sportive.



## Bibliografie

- 1 Americo A. Migliaccioa, Hamish G. MacDougalld, Lloyd B. Minora, Charles C. Della Santina, Inexpensive system for real-time 3-dimensional video-oculography using a fluorescent marker array, *Journal of Neuroscience Methods*, vol.143, pp.141-150, Elsevier 2005;
- 2 Andrew D., *Eye Tracking Methodology Theory and Practice Second Edition*, ISBN 978-1-84628-608-7, Springer-Verlag London Limited 2007;
- 3 Baciù, I., Kotropoulos, C., & Pitas, I., ICA and Gabor representation for facial expression recognition. *IEEE International Conference on Image Processing*, vol. 2, pp.855-858, 2003;
- 4 Ballard D. H., Generalizing the Hough Transform to Detect Arbitrary Shapes, *Pattern Recognition*, vol.13, pp.111-122, 1981;
- 5 Barber H., Stockwell C., *Manual of Electronystagmography*, The C.V. Mosby Company, 1980;
- 6 Bernod J., *Digital image processing 6th Edition*, ISBN 978-3-540-24035-8, pp. 335-515, 2005;
- 7 Bouguet J.Y., *Pyramidal Implementation of the Lucas Kanade Feature Tracker*, Intel Corporation, 2000;
- 8 Boverie S., Giralt A., Driver vigilance diagnostic based on eyelid movement observation, *Proceedings of the 17th World Congress The International Federation of Automatic Control Seoul, Korea, July 6-11*, pg.12831-12836, 2008 ;
- 9 Bracha V. , Nilaweera W., Zenitsky G., Irwin K., Video recording system for the measurement of eyelid movements during classical conditioning of the eyeblink response in the rabbit, *Journal of Neuroscience Methods*, vol.125, pp.173-181, Elsevier 2003;
- 10 Brunelli R., Poggio T., Face Recognition: features versus templates, *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol.15, pp.1042-1052, 2003;
- 11 Campadelli P., Lanzarotti R., Lipori G., Face and facial feature localization, *13th International Conference on Image Analysis and Processing*, vol. 1, pp. 1002-1009, 2005;
- 12 Canny J., A computational approach to edge detection, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.6, pp.679-698, 1986;
- 13 Carpenter R., *Movement of the eyes*, Pion Limited, 2nd edition, 1988;
- 14 Carpenter R., *Movements of the Eyes*, London 1977;
- 15 Castro F., Class I infrared eye blinking detector, *Sensors and Actuators A:Physical*, vol.A 148, pp.388- 394, 2008;
- 16 Cha Z., Zhengyou Z., *Boosting-Based Face Detection and Adaptation*, ISBN: 9781608451333, Morgan & Claypool 2010;
- 17 Chaves-González J. M., Vega-Rodríguez M. A., Gómez- Pulido J. A., Sánchez-Pérez J. M., Detecting skin in face recognition systems: A colour spaces study, *Digital Signal Processing*, vol. 20, pp. 806-823, 2010;
- 18 Chen L., Grecos C., A fast skin region detector for colour images, *IEE International Conference on Visual Information Engineering*, pp. 195-201, 2005;
- 19 Chen X., Huang, T., Facial expression recognition: A clustering-based approach. *Pattern Recognition Letters*, vol.24, pp.1295-1302, 2003;
- 20 Choi S.I., Chong H. C., Nojun K., Face recognition based on 2D images under illumination and pose variations, *Pattern Recognition Letters*, vol.32, pp.561-571, Elsevier 2011;
- 21 Cooray S., O'Connor N., A hybrid technique for face detection in color images, *IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp. 253-258, 2005;
- 22 Daijin K., Jaewon S., *Automated Face Analysis: Emerging Technologies and Research*, ISBN 978-1-60566-216-9, IGI Global 2009;



- 23 Dijana P.D., Chollet G., Dorizzi B., Guide to Biometric Reference Systems and Performance Evaluation, ISBN: 978-1-84800-291-3, Springer-Verlag London 2009;
- 24 Dios J.J., Garcia N., Fast face segmentation in component color space, International Conference on Image Processing, vol. 1, pp. 191–194, 2004;
- 25 Dobes M., Martineka J., Skoupila D., Pospilis J., Human eye localization using the modified Hough transform Optik, vol. 117, pp. 468–473, 2006;
- 26 Dubois E., Gray G., Nigay L., The Engineering of Mixed Reality Systems, ISBN 978-1-84882-732-5, Springer-Verlag London Limited 2010;
- 27 Duchowski A., Eye Tracking Methodology Theory and Practice Second Edition, Springer-Verlag London Limited 2007;
- 28 Duda R. O., Hart P. E., Use of the Hough Transformation to Detect Lines and Curves in Pictures, Communications of Association for Computing Machinery, vol.15, pp.11-15, 1972;
- 29 Essa, I., Pentland, A., Coding, analysis, interpretation and recognition of facial expressions, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.19, pp.757-763, 1997;
- 30 Fasel B., Luetlin J., Automatic facial expression analysis: a survey, *Pattern Recognition*, vol.36, pp.259–275, 2003;
- 31 Feng G.C., Yuen P.C., Multi-cues eye detection on gray intensity image, *Pattern Recognition*, vol.34, pp.1033–1046, 2001;
- 32 Fujimura K., Ji Q., Zhu Z., Real-time eye detection and tracking under various light conditions, ACM SIGCHI symposium on eye tracking research and applications, New Orleans 2002;
- 33 Gao Y., Leung M., Hui S., Tanada M., Facial expression recognition from line-based caricatures, *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, vol.33, pp.407-412, 2005;
- 34 Grauman K., Betke M., Gips J., Bradski G. R., Communication via eye blinks-detection and duration analysis in real time, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2001;
- 35 Guillaume C., Sauvage J.P., Adenis J.P., Robert P.Y., Videonystagmography to assess blinking, *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, vol.245, pp.1789–1796, Springer 2007;
- 36 Gunnar B., Lefèvre P., Visuomotor Velocity Transformations for Smooth Pursuit Eye Movements, *Journal of Neurophysiol* 104, pp. 2103–2115, 2010;
- 37 Hadwiger H., *Vorlesungen über Inhalt, Oberfläche und Isoperimetrie*, Springer-Verlag, Berlin, 1957;
- 38 Han C., Liao H.Y.M. , Yu G.J. , Chen L.H., Fast face detection via morphology-based pre-processing, *Pattern Recognition*, vol.33, pp.1701–1712, 2000;
- 39 Haralick R. M., Steinberg S. R., Zhuang X., Image Analysis Using Mathematical Morphology, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, pp.532–550, 1987;
- 40 Haro A., Flickner M., Essa I., Detecting and tracking eyes by using their physiological properties, dynamics, and appearance, *IEEE Proceedings of the International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 163–168, 2000;
- 41 Harry W., *Reliable Face Recognition Methods System Design, Implementation and Evaluation*, ISBN-13: 978-0-387-22372-8, Springer Science 2007;
- 42 Hossein M.K., Safabakhsha R., Human eye sclera detection and tracking using a modified time-adaptive self-organizing map, *Pattern Recognition*, vol.41, pp. 2571 – 2593, Elsevier 2008;
- 43 Hsu R.-L., M., Abdel-Mottaleb A., Jain .K. , Face detection in color images, *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.24 , pp.696–706, 2002;
- 44 Hu M. K., Visual Pattern Recognition by Moment Invariants, *IRE Trans. Inform. Theory*, IT-8, pp. 179–187, 1962;
- 45 Huang J., Wechsler H., Visual routines for eye location using learning and evolution,



---

**Articole științifice publicate de autor pe tema specifică acestei lucrări**

**Petrișor D.**, Foșalău C., „Visual attention communication method for impaired people by eye and eyelid movements: A Framework for Real World Scenarios”, Proceedings of 2014 IEEE International Symposium on Medical Measurements and Applications MeMeA-2014, June 11-12, 2014, Lisbon, Portugal, ISBN: 978-1-4799-2920-7, IEEE Catalog Number: CFP CFP14MEA-CDR, pp. 627-632, (*indexată în IEEE Xplore®*);

**Petrișor D.**, Foșalău C., Zet C., Măriuț F., „High Speed Video Monitoring System for Eyelid Movement Measurements”, Proceedings of the 35th International Conference on Telecommunications and Signal Processing - TSP 2012, July 3-4, 2012, Prague, Czech Republic, ISBN: 978-1-4673-1116-8, IEEE Catalog Number: CFP 1288P-CDR, pp. 730-734, (*indexată în IEEE Xplore®, Thomson Reuters Web of Knowledge, SCOPUS, DBLP*);

**Petrișor D.**, Foșalău C., Avila M., Măriuț F., „Algorithm for Face and Eye Detection Using Colour Segmentation and Invariant Features”, ISI Proceedings of ISBN 978-1-4577-1409-2, IEEE Catalog Number: CFP1188P-CDR, pp. 564-569, (*indexată în IEEE Xplore®, Thomson Reuters Web of Knowledge, SCOPUS, DBLP*);

**Petrișor D.**, Foșalău C., Măriuț F., „Measurement Algorithm for Amplitude, Duration and Velocity of Upper Eyelid Movements”, Proceedings of E-Health and Bioengineering Conference: EHB 2011, Nov. 24-26, 2011, Iași, România, ISBN: 978-606-544-078-4, pp. 439-442, (*indexată în IEEE Xplore®*);

**Petrișor D.**, Foșalău C., Măriuț F., Tudosă I., „Human Eye localization algorithm by using the structural model of the eye”, 6th International Conference of Electrical and Power Engineering – EPE2010, Faculty of Electrical Engineering, Oct. 28 – 30, 2010, Iași, Romania, ISBN: 978-606-13-0078-5, pp. II-289 – II-292;

**Petrișor D.**, Foșalău C., Măriuț F., „Video Acquisition Framework for High Speed Video Measurements of Human Eyelid Mobility”, 7th International Conference of Electrical and Power Engineering – EPE2012, Faculty of Electrical Engineering, Oct. 25 – 27, 2012, Iași, Romania, (*indexată în IEEE Xplore®*);